

Administración de centros de distribución:

modelos, tecnología y sostenibilidad



Gregorio Araujo Aceves – Francisco Javier Torres Barajas – Rafael González Bravo
Laura Estela Páez Rivas – Manuel Gándara Rodríguez – Luisa Graciela Huerta Nieto
Edna María Luisa Vargas Ramos – Luis Antonio Marquez Frausto – Carolina Ponce Macias
Horacio Jesús Cisneros González – Martha Elena Gutiérrez Delgado

Administración de centros de distribución:

Modelos, tecnología y sostenibilidad



Administración de centros de distribución: modelos, tecnología y sostenibilidad

Gregorio Araujo Aceves
Francisco Javier Torres Barajas
Rafael González Bravo
Laura Estela Páez Rivas
Manuel Gándara Rodríguez
Luisa Graciela Huerta Nieto
Edna María Luisa Vargas Ramos
Luis Antonio Marquez Frausto
Carolina Ponce Macias
Horacio Jesús Cisneros González
Martha Elena Gutiérrez Delgado



Administración de centros de distribución: modelos, tecnología y sostenibilidad. **Autores:** Gregorio Araujo Aceves, Francisco Javier Torres Barajas, Rafael González Bravo, Laura Estela Páez Rivas, Manuel Gándara Rodríguez, Luisa Graciela Huerta Nieto, Edna María Luisa Vargas Ramos, Luis Antonio Marquez Frausto, Carolina Ponce Macias, Horacio Jesús Cisneros González y Martha Elena Gutiérrez Delgado.

388 P. 23 cm.

Primera edición.

D. R. © copyright 2026. Francisco Javier Torres Barajas, Rafael González Bravo, Laura Estela Páez Rivas, Manuel Gándara Rodríguez, Luisa Graciela Huerta Nieto, Edna María Luisa Vargas Ramos, Luis Antonio Marquez Frausto, Carolina Ponce Macias, Horacio Jesús Cisneros González y Martha Elena Gutiérrez Delgado.

ISBN: 979-13-88349-22-5

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26004716>



La presente obra fue dictaminada bajo el sistema de doble ciego y cuenta con el aval de los dictámenes de pares académicos.

Edición y corrección: **Astra ediciones**



Todos los contenidos de esta publicación, se comparten bajo la licencia Creative Commons Atribución/Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (**CC BY-NC-SA 4.0**). Esto implica que no está autorizado el uso comercial de la obra original ni de las eventuales obras derivadas, las cuales deberán distribuirse bajo la misma licencia que rige la obra original. No obstante, se permite a terceros compartir el contenido siempre y cuando se reconozca debidamente la autoría y la publicación original en esta editorial.

Contenido

Prefacio.....	13
----------------------	-----------

I

Fundamentos y estrategia.....	19
--------------------------------------	-----------

Capítulo 1

Rol estratégico del centro de distribución (CEDIS) en la cadena de suministro: Diferenciación entre almacén y centro de distribución.....	23
---	----

Capítulo 2

Clasificación de centros de distribución: Consolidación, cross-docking, centros de valor agregado, centros de devoluciones y e-commerce fulfillment	33
---	----

Capítulo 3

Análisis de la red logística: Ubicación geográfica, número de CEDIS, cobertura y nivel de servicio.....	47
---	----

Capítulo 4

Modelos de operación: Operador propio (propietario), 3PL, 4PL y modelos híbridos	63
--	----

II

Diseño y planificación de infraestructura.....	81
---	-----------

Capítulo 5

Metodologías para el diseño de almacenes: Análisis de SKU (unidades de mantenimiento de stock), perfiles de demanda y estacionalidad.....	85
---	----

Capítulo 6

Distribución en planta (layout): Tipos de flujo (U, I, L, T), dimensionamiento de áreas (recepción, almacenamiento, picking, expedición).....	103
---	-----

Capítulo 7

Sistemas de almacenamiento: Estanterías convencionales, racks de doble profundidad, cantilever, sistemas compactos (push-back, drive-in), sistemas automatizados (AS/RS, miniload)119

III

Procesos operativos y gestión de flujos137

Capítulo 8

Gestión de recepción: Programación de citas, descarga, verificación, put-away (ubicación) y control de calidad141

Capítulo 9

Almacenamiento y reubicación: Políticas de ubicación (aleatoria, fija, mixta), optimización de espacio y rotación de inventarios (PEPS, UEPS, FEFO)161

Capítulo 10

Preparación de pedidos (picking): Metodologías (por orden, por lote, por zona, wave picking), tecnologías asociadas (voice picking, pick-to-light, RF, pick-by-vision)183

Capítulo 11

Embalaje, consolidación y expedición: Optimización de cajas, etiquetado, carga y despacho205

Capítulo 12

Gestión de devoluciones (logística inversa): Clasificación, reintegración, disposición final y costos asociados225

IV

Gestión de inventarios y tecnología243

Capítulo 13

Modelos de control de inventarios aplicados al CEDIS: Stock de seguridad, punto de reorden, lote económico, inventarios cíclicos y obsoletos247

Capítulo 14

Tecnologías de identificación: Códigos de barras, RFID (identificación por radiofrecuencia), IoT (internet de las cosas) para trazabilidad263

Capítulo 15

Sistemas de gestión: WMS, WCS, TMS y su integración con ERP279

Capítulo 16

Digitalización y analítica: Gemelos digitales, simulación de procesos, analítica de datos para la toma de decisiones, inteligencia artificial para pronósticos y asignación de recursos295

V

Indicadores, productividad y mejora continua313

Capítulo 17

Cuadro de mando integral (Balanced Scorecard) para CEDIS317

Capítulo 18

Indicadores clave de desempeño (KPIs): Precisión de inventario, productividad (líneas/hora), cumplimiento de pedidos (OTIF), costo por unidad manipulada, utilización de espacio y equipos329

Capítulo 19

Metodologías de mejora continua: Lean Warehousing, 5S, Six Sigma, Kaizen y reducción de desperdicios (muda)339

Capítulo 20

Gestión de personal en centros de distribución: Dimensionamiento de cuadrillas, incentivos, seguridad y salud ocupacional353

Referencias365

Glosario371

“A los ingenieros les gusta resolver problemas. Si no hay problemas a mano, se inventan sus propios problemas.” **Scott Adams**

Prefacio

La administración de centros de distribución ha dejado de ser una función meramente operativa dentro de la cadena de suministro para convertirse en un eje estratégico de competitividad, rentabilidad y sostenibilidad empresarial. En un entorno globalizado, donde el comercio electrónico crece exponencialmente, las cadenas de suministro se vuelven más complejas y los consumidores exigen entregas cada vez más rápidas y precisas, el centro de distribución se perfila como un nodo crítico para el éxito organizacional.

Este libro, *Administración de Centros de Distribución: Modelos, tecnología y sostenibilidad* ha sido concebido como una herramienta integral para estudiantes universitarios, profesionistas y directivos que buscan comprender y aplicar los principios modernos de gestión de centros de distribución. A lo largo de sus capítulos, se combinan fundamentos teóricos con casos prácticos, metodologías de mejora continua, tecnologías de vanguardia y criterios de sostenibilidad, todo ello orientado a la formación de un profesional capacitado para diseñar, operar, optimizar y transformar centros de distribución en entornos dinámicos y exigentes.

Perfil del egresado: competencias que desarrollarás

Al finalizar la lectura y estudio de esta obra, el egresado habrá desarrollado las siguientes competencias profesionales, alineadas con las demandas actuales del sector logístico y de la cadena de suministro:

Competencias estratégicas

- Diseñar y planificar centros de distribución considerando variables como ubicación geográfica, tipo de productos, volúmenes de operación, niveles de servicio y proyecciones de crecimiento.
- Seleccionar modelos de operación adecuados (operación propia, 3PL, 4PL, híbridos) con base en análisis de costo-beneficio y alineación estratégica de la organización.

- Integrar el centro de distribución como ventaja competitiva dentro de la cadena de suministro global, mejorando indicadores clave como el OTIF (*on time in full*) y el costo logístico total.

Competencias técnicas y operativas

- Diseñar layouts eficientes (distribuciones en planta tipo U, I, L o T) y seleccionar sistemas de almacenamiento y equipos de manejo de materiales adecuados a cada tipo de flujo y SKU.
- Implementar procesos operativos robustos en recepción, almacenamiento, preparación de pedidos (*picking*), empaque, expedición y logística inversa, aplicando metodologías como Lean Warehousing y Six Sigma.
- Operar y gestionar sistemas tecnológicos como WMS (Warehouse Management System), WCS, TMS, RFID, IoT, así como herramientas de automatización (AGV, AMR, AS/RS) y analítica de datos.

Competencias en medición y mejora continua

- Definir, medir y analizar indicadores clave de desempeño (KPIs) específicos para centros de distribución: precisión de inventario, productividad por operador, costo por unidad manipulada, utilización de espacio, entre otros.
- Aplicar metodologías de mejora continua (5S, Kaizen, reducción de desperdicios) para incrementar la eficiencia operativa y reducir costos sin afectar el nivel de servicio.
- Diagnosticar problemas operativos mediante simulación y analítica de datos, proponiendo soluciones basadas en evidencia cuantitativa.

Competencias en sostenibilidad y gestión del talento

- Diseñar estrategias de sostenibilidad aplicadas al centro de distribución: eficiencia energética, reducción de huella de carbono, gestión de residuos, empaques ecológicos y economía circular.
- Gestionar equipos de trabajo en entornos de alta presión operativa, dimensionando cuadrillas, diseñando sistemas de incentivos, promoviendo la seguridad y salud ocupacional, y fomentando una cultura de mejora continua.
- Incorporar criterios de responsabilidad social y ambiental en la toma de decisiones operativas y estratégicas, alineándose con estándares internacionales (ESG, ODS).

Competencias para la transformación digital y la resiliencia

- Liderar proyectos de automatización y digitalización en centros de

distribución, evaluando la viabilidad técnica, financiera y operativa de soluciones como robótica colaborativa, dark warehouses o micro-fulfillment centers.

- Desarrollar estrategias de resiliencia ante disrupciones (pandemia, desastres naturales, crisis logísticas), implementando planes de contingencia y seguridad operativa.
- Adaptar el centro de distribución a las exigencias del comercio electrónico, omnicanalidad y modelos de negocio emergentes (*dropshipping*, devoluciones rápidas, logística inversa eficiente).

Estructura y enfoque pedagógico

El libro está organizado en seis grandes secciones que recorren desde los fundamentos estratégicos hasta las tendencias futuras, pasando por el diseño de infraestructura, los procesos operativos, la tecnología, los indicadores de gestión y la sostenibilidad. Cada capítulo incluye:

- Casos prácticos basados en empresas reales.
- Ejercicios de aplicación y preguntas de reflexión.
- Ejemplos de cálculo de KPIs y dimensionamiento de recursos.
- Referencias a tecnologías actuales y buenas prácticas internacionales.

Invitamos al lector a no solo leer este libro, sino a utilizarlo como una guía de trabajo, un manual de consulta y una fuente de inspiración para transformar centros de distribución en centros de valor. La administración de centros de distribución del futuro requiere profesionales con una visión integral, capacidad analítica, dominio tecnológico y un firme compromiso con la sostenibilidad. Este libro está diseñado para formarte con esas competencias.

Introducción

En el entramado complejo y dinámico de las cadenas de suministro globales, los centros de distribución (CEDIS) han dejado de ser vistos como simples depósitos o bodegas de almacenamiento para convertirse en nodos estratégicos de alto valor. Hoy en día, un centro de distribución bien administrado es capaz de diferenciar a una empresa de su competencia, mejorar radicalmente los niveles de servicio al cliente, reducir costos logísticos y contribuir activamente a la sostenibilidad del negocio y del planeta.

Este libro, *Administración de Centros de Distribución: Modelos, tecnología y sostenibilidad*, ha sido concebido como una obra de referencia para estudiantes universitarios de carreras como Logística, Administración de Empresas, Ingeniería Industrial, Comercio Internacional o Supply Chain Management. Su propósito es proporcionar una visión integral, actualizada y aplicada de los principios, métodos y herramientas que rigen la gestión eficaz de un centro de distribución en el siglo XXI.

A lo largo de sus capítulos, el lector encontrará un equilibrio cuidadoso entre fundamentos teóricos y aplicaciones prácticas. Se abordarán desde los modelos clásicos de operación hasta las tecnologías más disruptivas —como la robótica autónoma, los gemelos digitales, el Internet de las Cosas (IoT) y los sistemas WMS de última generación—, sin perder de vista un eje transversal cada vez más relevante: la sostenibilidad económica, social y ambiental.

Cada capítulo incluye casos de estudio basados en situaciones reales de empresas de diversos sectores (alimentos, retail, e-commerce, farmacéutico, automotriz, entre otros), así como ejercicios de reflexión y análisis que buscan desarrollar el pensamiento crítico y la capacidad de toma de decisiones del estudiante.

Se invita al lector a transitar por estas páginas no como un espectador pasivo, sino como un futuro profesional activo, capaz de diagnosticar, proponer e implementar soluciones innovadoras en centros de distribución. La administración de estos centros es un campo fértil para el talento, la

creatividad y el liderazgo, y este libro aspira a ser el acompañante ideal en ese camino de formación.

Esperamos que esta obra contribuya significativamente a tu preparación universitaria y te inspire a transformar los centros de distribución en verdaderos motores de competitividad, tecnología y sostenibilidad.

I

Fundamentos y estrategia

Introducción

El centro de distribución (CEDIS) ha evolucionado de manera significativa en las últimas décadas. Tradicionalmente concebido como un espacio físico destinado exclusivamente al almacenamiento de mercancías, en la actualidad se reconoce como un componente estratégico dentro de la cadena de suministro. Su función trasciende la simple custodia de inventarios para abarcar actividades de consolidación, cruce de mercancías (cross-docking), preparación de pedidos, personalización de productos, gestión de devoluciones y generación de información valiosa para la toma de decisiones.

El presente capítulo tiene como propósito sentar las bases conceptuales y estratégicas que permitan al lector comprender el verdadero rol del centro de distribución en el contexto empresarial contemporáneo. Para ello, se parte de una premisa fundamental: ningún centro de distribución puede ser eficiente si no está alineado con los objetivos generales de la organización y con las exigencias del mercado en el que opera.

En primer lugar, se aborda la definición y clasificación de los centros de distribución, diferenciándolos de otras figuras como los almacenes tradicionales o los centros de consolidación. Se analizan los distintos modelos de operación —operación propia, contratación de terceros (3PL), modelos híbridos, entre otros— y se evalúan sus ventajas, desventajas y condiciones de aplicabilidad.

Posteriormente, el capítulo introduce los conceptos clave de la estrategia en centros de distribución, tales como la ubicación geográfica, la cobertura territorial, el nivel de servicio al cliente y la integración con otros eslabones de la cadena de suministro. Se examina cómo las decisiones estratégicas impactan directamente en los costos logísticos totales y en la capacidad de respuesta ante fluctuaciones de la demanda.

Finalmente, se presentan metodologías para el análisis de la red logística, incluyendo criterios para determinar el número óptimo de centros de distribución, su tamaño y sus áreas de influencia. Se discuten casos prác-

ticos que ilustran cómo distintas empresas han transformado sus centros de distribución en ventajas competitivas sostenibles.

A lo largo del capítulo, se hace hincapié en la necesidad de concebir el centro de distribución no como un centro de costo, sino como un centro de valor. Esta visión estratégica constituye el piso sobre el cual se construirán los temas técnicos y operativos desarrollados en los capítulos subsiguientes. Al finalizar el estudio de este capítulo, se espera que el lector sea capaz de:

- Diferenciar los tipos de centros de distribución y seleccionar el más adecuado según el modelo de negocio.
- Evaluar las implicaciones estratégicas de las decisiones sobre ubicación, cobertura y nivel de servicio.
- Aplicar criterios fundamentados para elegir entre operación propia o externalización logística.
- Comprender la relación entre la estrategia del centro de distribución y la competitividad de la cadena de suministro en su conjunto.

Con estos fundamentos establecidos, el lector estará en condiciones de avanzar hacia el diseño detallado, la operación y la optimización de centros de distribución, temas que se desarrollarán en profundidad a lo largo de la obra.

Capítulo 1

Rol estratégico del centro de distribución (CEDIS) en la cadena de suministro: Diferenciación entre almacén y centro de distribución

1. Introducción al rol estratégico del CEDIS

En el contexto actual de las cadenas de suministro globales, el centro de distribución (CEDIS) ha pasado de ser un eslabón operativo a constituirse como un elemento estratégico de primer orden. Tradicionalmente considerado como un centro de costo —un lugar donde la mercancía simplemente “descansaba” entre la producción y el consumo—, en la actualidad se reconoce como un nodo generador de valor, capaz de influir directamente en la competitividad de la empresa, la satisfacción del cliente y la sostenibilidad del negocio.

El rol estratégico del CEDIS se manifiesta en múltiples dimensiones. En primer lugar, actúa como un regulador de flujos: absorbe las variaciones entre la oferta y la demanda, permitiendo que la producción opere de manera estable mientras el mercado experimenta fluctuaciones estacionales o promocionales.

En segundo lugar, funciona como un centro de procesamiento de valor agregado, donde se realizan actividades como etiquetado, reempaque, personalización de productos, *kitting* (ensamble de kits) y control de calidad. En tercer lugar, el CEDIS se convierte en un generador de información crítica para la toma de decisiones, al registrar en tiempo real movimientos de inventario, tiempos de ciclo, productividad de operadores y niveles de servicio.

Además, el CEDIS cumple una función integradora dentro de la cadena de suministro al conectar físicamente a proveedores, fabricantes, mayoristas, minoristas y clientes finales. Un centro de distribución bien ubicado y eficientemente operado reduce los tiempos de tránsito, disminuye los costos de transporte por consolidación de cargas y mejora la capacidad de respuesta ante pedidos urgentes o devoluciones.

Desde una perspectiva estratégica, el CEDIS contribuye directamente a indicadores clave como el OTIF (*On Time In Full* —entregado a tiempo y completo), el costo logístico total como porcentaje de las ventas, la rotación de inventarios y el cumplimiento de la ventana de entrega prometida al cliente. Por ello, las decisiones sobre el número de centros, su ubicación, su tamaño, su nivel de automatización y su modelo de operación deben ser tomadas en el más alto nivel directivo, alineadas con la estrategia corporativa.

2. Diferenciación fundamental entre almacén y centro de distribución

Uno de los errores conceptuales más frecuentes en el ámbito logístico consiste en utilizar los términos “almacén” y “centro de distribución” como sinónimos. Si bien ambos son instalaciones físicas destinadas a la custodia de mercancías, existen diferencias sustanciales en su propósito, diseño, operación y contribución a la cadena de suministro. A continuación, se presentan las principales distinciones.

2.1 Propósito y función principal

Aspecto	Almacén tradicional	Centro de distribución (CEDIS)
Propósito fundamental	Preservar y custodiar mercancías por periodos prolongados	Acelerar el flujo de productos desde la recepción hasta el despacho
Enfoque predominante	Conservación de inventarios	Movimiento y rotación de productos
Horizonte de permanencia	Semanas o meses	Horas o días (en modelos avanzados, incluso minutos en cross-docking)
Valor agregado	Bajo (principalmente almacenaje)	Alto (preparación de pedidos, etiquetado, personalización, consolidación)

Un almacén tradicional responde a una lógica de aprovisionamiento donde la prioridad es garantizar la disponibilidad de productos a largo plazo, a menudo con rotaciones lentas o estacionales. Su diseño prioriza la capacidad de almacenamiento sobre la velocidad de flujo. Por el contrario, un centro de distribución responde a una lógica de flujo continuo, donde la mercancía entra y sale constantemente, a menudo en volúmenes fraccionados y con alta frecuencia.

2.2 Diseño y distribución en planta (layout)

En un almacén tradicional, el layout suele estar organizado por familias de productos o por tamaño, sin un énfasis particular en la secuencia de los procesos de preparación de pedidos. Las áreas de recepción y expedición son reducidas en comparación con el área de almacenamiento estático.

En cambio, un centro de distribución está diseñado para minimizar los recorridos y maximizar la productividad del picking. Su distribución típica sigue flujos en forma de U, I, L o T, donde las áreas de recepción y expedición están estratégicamente ubicadas para evitar cruces y retrocesos. Además, el CEDIS incorpora zonas específicas para:

- Recepción y control de calidad.
- Zona de almacenamiento dinámico (para productos de alta rotación).
- Zona de almacenamiento estático (para productos de baja rotación o reserva).
- Zona de picking (preparación de pedidos).
- Zona de empaque y consolidación.
- Zona de expedición y carga.
- Zona de devoluciones (logística inversa).

2.3 Rotación de inventarios y perfiles de SKU

Un indicador clave que diferencia a ambas figuras es la rotación de inventarios (número de veces que el inventario se renueva en un periodo). En un almacén tradicional, la rotación suele ser baja (menos de 4 veces al año). En un centro de distribución, la rotación es alta (12 veces al año o más, llegando a rotaciones diarias en operaciones de e-commerce).

Asimismo, los perfiles de SKU (Stock Keeping Units —unidades de mantenimiento de stock) manejados en un CEDIS suelen ser más amplios y volátiles, con una alta proporción de productos de rotación rápida (clase A según la clasificación ABC) y una parte significativa de productos de rotación media o baja (clases B y C), pero siempre con una presión por reducir los tiempos de ciclo.

2.4 Tecnología y sistemas de información

Los almacenes tradicionales pueden operar con sistemas básicos de inventario o incluso con registros manuales. Los centros de distribución modernos, en cambio, requieren sistemas avanzados como:

- **WMS (Warehouse Management System)** - sistema de gestión de almacenes).
- **WCS (Warehouse Control System)** - sistema de control de almacén) para automatización.

- **TMS (Transportation Management System** —sistema de gestión de transporte).
- **Tecnologías de identificación:** RFID, códigos de barras, reconocimiento óptico.
- **Equipos de automatización:** clasificadores automáticos (sorters), transportadores, AGV, AMR, AS/RS.

La tecnología en un CEDIS no es un lujo, sino una necesidad para manejar altos volúmenes de transacciones diarias con precisión (superior al 99.5 % de exactitud de inventario).

2.5 Nivel de servicio y tiempos de respuesta

Un almacén tradicional mide su desempeño principalmente por la precisión del inventario y la seguridad de la mercancía. Un centro de distribución, además de lo anterior, mide rigurosamente:

- Tiempo de ciclo del pedido (desde la recepción del pedido hasta su salida del CEDIS).
- Productividad del picking (líneas preparadas por hora por operador).
- Cumplimiento de ventanas de despacho (% de pedidos despachados en el turno o día comprometido).
- Precisión del pedido (% de pedidos sin errores de producto, cantidad o etiquetado).

3. Evolución del concepto: del almacén al centro de distribución integrado

La transición del almacén tradicional al centro de distribución estratégico no ocurrió de manera abrupta. Puede identificarse una evolución en varias etapas:

1. **Almacén pasivo (décadas 1950-1980):** Solo custodia. Poca o nula integración con transporte o producción. Decisiones tácticas.
2. **Centro de distribución funcional (1980-2000):** Se incorporan procesos básicos de preparación de pedidos y cross-docking incipiente. Se introduce el WMS.
3. **Centro de distribución integrado (2000-2015):** Fuerte vinculación con TMS, ERP y pronósticos de demanda. Se gestionan múltiples canales (mayoreo, retail).

4. Centro de distribución omnicanal y sostenible (2015-presente):

Atiende simultáneamente ventas en tienda física, e-commerce, marketplaces y devoluciones. Incorpora criterios de sostenibilidad, automatización avanzada y analítica de datos en tiempo real.

Hoy en día, el concepto más avanzado es el del CEDIS como centro de control de la cadena de suministro, donde no solo se almacena y distribuye, sino que se toman decisiones predictivas sobre reabastecimiento, reasignación de inventarios entre puntos de venta y rutas de transporte óptimas.

4. Implicaciones estratégicas para el diseño de la red logística

La decisión de operar un centro de distribución en lugar de un almacén tradicional tiene profundas implicaciones en el diseño de la red logística.

Algunas de las más relevantes son:

- **Número de CEDIS:** Mientras más centros de distribución (con alta rotación), menor el tiempo de entrega al cliente final, pero mayores los costos de inventario y operación. El equilibrio depende del nivel de servicio objetivo.
- **Ubicación geográfica:** Los CEDIS suelen ubicarse cerca de centros de consumo o cruces de rutas de transporte, no necesariamente cerca de las fuentes de producción.
- **Tamaño y especialización:** Es posible tener CEDIS regionales (para cobertura amplia) y CEDIS locales (para entregas en horas o el mismo día, comunes en e-commerce y dark stores).
- **Modelo de operación:** La alta rotación y complejidad de un CEDIS a menudo justifica la externalización parcial o total a operadores logísticos especializados (3PL), aunque también existen modelos exitosos de operación propia (como Amazon o Mercado Libre).

5. Ejemplo integrador: Transformación de un almacén a CEDIS en una empresa de retail

Para ilustrar la diferencia práctica, se presenta el siguiente caso hipotético, pero basado en situaciones reales:

5.1 Situación inicial (almacén tradicional)

Una cadena de supermercados regional operaba un almacén de 10 000 m² donde recibía productos de proveedores y los almacenaba por meses en estanterías convencionales. Los pedidos de las tiendas se preparaban una vez por semana, con un tiempo de ciclo de 72 horas. El inventario promedio era de 8 millones de dólares y la rotación anual era de 3 veces.

5.2 Transformación a CEDIS

La empresa rediseñó el almacén como un centro de distribución con layout en U, implementó un WMS, clasificó sus SKU por rotación (ABC), incorporó picking por voz y consolidó despachos diarios a cada tienda. El tiempo de ciclo se redujo a 24 horas, la rotación aumentó a 12 veces al año, el inventario promedio bajó a 3.5 millones de dólares y el nivel de servicio a tiendas pasó del 85 % al 97 % OTIF.

Conclusión del caso: El mismo espacio físico, con una visión estratégica y operativa diferente, dejó de ser un almacén (centro de costo) para convertirse en un centro de distribución (centro de valor).

6. Resumen del tema

- **El centro de distribución (CEDIS) tiene un rol estratégico en la cadena de suministro:** regula flujos, agrega valor, genera información e integra eslabones.
- La diferencia fundamental entre un almacén tradicional y un centro de distribución radica en el propósito (custodia vs. flujo), diseño (layout orientado al picking), rotación (baja vs. alta), tecnología y medición de desempeño.

- La evolución histórica muestra un tránsito desde almacenes pasivos hacia CEDIS integrados, omnicanales y sostenibles.
- Las decisiones sobre red logística (número, ubicación, tamaño, modelo de operación) deben alinearse con la estrategia competitiva de la organización.
- La transformación de un almacén a un centro de distribución es una decisión estratégica que impacta directamente en costos, niveles de servicio y sostenibilidad del negocio.

Preguntas de reflexión para el estudiante

1. ¿Por qué se afirma que un centro de distribución puede ser un “generador de ventaja competitiva”, mientras que un almacén tradicional difícilmente lo es?

2. ¿En qué tipo de industrias o modelos de negocio sería más conveniente operar un almacén tradicional en lugar de un centro de distribución? Justifique su respuesta.

3. ¿Cómo influye el crecimiento del comercio electrónico en la necesidad de transformar almacenes tradicionales en centros de distribución omnicanal?

4. Proponga tres indicadores que permitan diferenciar operativamente si una instalación funciona como almacén o como centro de distribución.

Capítulo 2

**Clasificación de centros de distribución:
Consolidación, cross-docking, centros de
valor agregado, centros de devoluciones y
e-commerce fulfillment**

Introducción a la clasificación de los CEDIS

No todos los centros de distribución (CEDIS) cumplen las mismas funciones ni responden a las mismas necesidades logísticas. La clasificación de los centros de distribución permite a los diseñadores de la cadena de suministro seleccionar el tipo de instalación más adecuado según el modelo de negocio, las características de los productos, los patrones de demanda, los niveles de servicio requeridos y los objetivos estratégicos de la organización.

Tradicionalmente, los centros de distribución se clasificaban únicamente por su cobertura geográfica (local, regional, nacional o internacional). Sin embargo, la evolución de las cadenas de suministro y la aparición de nuevos modelos de negocio (especialmente el comercio electrónico y la omnicanalidad) han diversificado significativamente los tipos de CEDIS. A continuación, se presentan las principales clasificaciones funcionales de los centros de distribución, considerando su propósito central dentro de la cadena de suministro.

2. Centro de distribución de consolidación (*consolidation center*)

2.1 Definición y propósito

Un centro de distribución de consolidación tiene como función principal recibir cargas parciales o pequeñas remesas provenientes de múltiples proveedores (muchas veces ubicados en una misma región geográfica), para combinarlas en envíos de mayor tamaño (cargas completas o camiones llenos) que se destinan a un mismo cliente, región o centro de distribución subsiguiente.

Este tipo de CEDIS responde a la necesidad de reducir costos de transporte mediante economías de escala. En lugar de que cada proveedor envíe su mercancía por separado (con altos costos por flete parcial o paquetería), la consolidación permite llenar la capacidad de los vehículos de carga, disminuyendo el costo por unidad transportada.

2.2 Operación típica

1. **Recepción:** Se reciben múltiples embarques pequeños de diferentes proveedores, a menudo en horarios concertados.
2. **Clasificación y almacenamiento temporal:** Los productos se identifican y se almacenan por cortos periodos (horas o un par de días) mientras se completa la carga consolidada.
3. **Consolidación:** Se agrupan los productos según su destino final (un mismo cliente, una región o una tienda específica).
4. **Expedición:** Se despachan cargas completas (full truckload) hacia el destino, maximizando el uso del espacio del transporte.

2.3 Aplicaciones típicas

- **Industria automotriz:** Plantas ensambladoras reciben componentes de cientos de proveedores; los centros de consolidación agrupan piezas por línea de montaje.
- **Retail de gran superficie:** Múltiples proveedores envían sus productos a un centro de consolidación, que luego los distribuye en cargas completas a las tiendas.
- **Comercio internacional:** Los consolidation hubs en puertos o zonas francas permiten agrupar contenedores de distintos exportadores hacia un mismo importador.

2.4 Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
Reducción significativa de costos de transporte	Requiere coordinación precisa de horarios de proveedores
Menor cantidad de vehículos en las instalaciones del cliente final	Aumenta el tiempo de tránsito por la parada en el centro de consolidación
Mejor aprovechamiento de la capacidad de los vehículos	Puede generar inventario temporal (lead time adicional)
Simplifica la recepción en el destino final (un solo embarque en lugar de muchos)	Necesita un WMS para manejar múltiples orígenes y destinos

3. Centro de distribución de *cross-docking*

3.1 Definición y propósito

El *cross-docking* (cruce de mercancías) es una técnica logística en la cual los productos que ingresan al centro de distribución no pasan por una etapa de almacenamiento prolongado. En lugar de ello, la mercancía se traslada directamente desde el andén de recepción hacia el andén de expedición, con un tiempo de permanencia mínimo (generalmente menos de 24 horas, y en modelos avanzados menos de 2 horas).

El propósito del *cross-docking* es acelerar el flujo de productos y reducir o eliminar los costos de almacenamiento (inventario en tránsito, espacio físico, manipulación innecesaria). Este modelo es especialmente adecuado para productos de alta rotación, con demanda predecible o con pedidos programados.

3.2 Tipos de *cross-docking*

Tipo	Descripción	Ejemplo
Predistribuido	Los productos llegan ya etiquetados y asignados a un cliente o destino final. Solo se transfieren de un andén a otro.	Envíos a tiendas de conveniencia con pedidos previamente definidos.
Postdistribuido	Los productos llegan sin destino específico; al recibirlos, se clasifican y asignan según pedidos del día.	Centros de distribución de supermercados con reposición diaria.
Continuo	El flujo es constante; los productos se mueven mediante transportadores automáticos desde recepción hasta expedición.	Operaciones de paquetería expresa (DHL, FedEx, Amazon).
Mixto	Parte de la mercancía cruza directamente y otra parte entra a almacenamiento temporal por baja rotación.	Mayoristas de electrónicos con productos de rotación A, B y C.

3.3 Requisitos para una operación exitosa

- Sincronización precisa entre proveedores, transporte y clientes.
- Tecnología avanzada (WMS, lectores de códigos de barras/RFID, transportadores automáticos).
- Layout adecuado con andenes de recepción y expedición enfrentados o en forma de U para minimizar distancias.
- Alta precisión en la información de pedidos para evitar errores de envío.

3.4 Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
Elimina o reduce drásticamente los costos de almacenamiento	Vulnerable a descoordinaciones en la cadena de suministro
Disminuye el tiempo de ciclo del pedido (mayor velocidad de respuesta)	Requiere inversión en tecnología y equipos de manejo
Reduce la manipulación de productos (menor riesgo de daños)	No es adecuado para productos de baja rotación o demanda incierta
Menor espacio físico necesario (sin áreas grandes de almacenaje)	Necesita alta confiabilidad de proveedores en cantidad, calidad y tiempo

3.5 Aplicaciones típicas

- **Cadenas de supermercados:** Los proveedores envían directamente al centro de cross-docking y desde allí salen camiones hacia las tiendas, a menudo el mismo día.
- **Fabricantes justo a tiempo (JIT):** Los componentes llegan al centro de cross-docking y se despachan inmediatamente a la línea de producción.
- **Empresas de paquetería expresa:** Los paquetes se clasifican en hubs de cross-docking y se reexpiden en cuestión de horas.

4. Centro de distribución de valor agregado (*value-added center*)

4.1 Definición y propósito

Un centro de distribución de valor agregado (también llamado *value-added warehouse* o *service center*) va más allá de las funciones tradicionales de almacenamiento, consolidación o cruce de mercancías. En este tipo de instalación, se realizan actividades que incrementan el valor del producto desde la perspectiva del cliente, sin necesidad de que el producto regrese a la fábrica.

El propósito es diferenciar la oferta logística y acercar las actividades de personalización al punto de consumo, reduciendo tiempos de entrega y costos de transporte de productos terminados.

4.2 Actividades típicas de valor agregado

Actividad	Descripción	Ejemplo
Etiquetado y re-etiquetado	Colocar etiquetas de precio, códigos de barras, etiquetas promocionales o en idiomas locales.	Etiquetado de productos importados en el CEDIS antes de enviarse a tiendas.
Reempaque	Cambiar empaques dañados, reducir tamaños de empaque para e-commerce o crear paquetes promocionales.	Creación de combos (ej. champú + acondicionador) en el centro de distribución.
Kitting	Ensamblar varios componentes en un kit o conjunto funcional.	Kits de primeros auxilios, herramientas o regalos corporativos.
Personalización	Grabar, imprimir o agregar características específicas por cliente.	Impresión de logotipos en productos promocionales justo antes del envío.
Control de calidad avanzado	Inspecciones más detalladas que las de recepción, calibraciones o pruebas funcionales.	Pruebas de dispositivos electrónicos antes de enviarse a distribuidores.
Montaje ligero	Ensamblar partes que por costo o volumen no conviene ensamblar en fábrica.	Colocar patas a muebles, instalar accesorios en electrodomésticos.

4.3 Ventajas estratégicas

- **Reducción de inventario de productos terminados:** Se mantienen componentes genéricos y se personalizan bajo pedido.
- **Mayor capacidad de respuesta:** La personalización se realiza cerca del mercado, no en fábricas distantes.
- **Diferenciación competitiva:** Se ofrecen servicios que el cliente valora y por los cuales está dispuesto a pagar más o a fidelizarse.
- **Menor riesgo de obsolescencia:** Los productos personalizados se fabrican bajo pedido, no en grandes lotes especulativos.

4.4 Aplicaciones típicas

- **Tecnología y electrónica:** Personalización de software, idiomas o accesorios en laptops y teléfonos.
- **Industria farmacéutica:** Etiquetado en idiomas locales, empaque para hospitales vs. farmacias.
- **Textil y moda:** Colocación de etiquetas de marca, precios, sensores de seguridad.
- **Automotriz:** Kitting de herramientas y accesorios para cada modelo de vehículo.

5. Centro de distribución de devoluciones (*returns center*)

5.1 Definición y propósito

Un centro de distribución de devoluciones (también llamado reverse logistics center o returns processing center) está especializado en la gestión de la logística inversa. Su función principal es recibir productos devueltos por los clientes (por defectos, insatisfacción, garantía o fin de temporada), clasificarlos, inspeccionarlos y decidir su destino final: reintegrar al inventario, reparar, revender como producto reacondicionado, donar, reciclar o desechar.

Este tipo de CEDIS ha cobrado enorme relevancia con el auge del comercio electrónico, donde las tasas de devolución pueden alcanzar entre el 20 % y el 40 % en categorías como moda y calzado.

5.2 Proceso típico en un centro de devoluciones

1. **Recepción de devoluciones:** Se reciben paquetes o lotes de productos devueltos, a menudo sin documentación completa.
2. **Inspección y clasificación:** Se evalúa el estado del producto (nuevo, usado, dañado, faltante de partes) y se determina su causa de devolución.
3. **Toma de decisión:**
 - **Reintegración a inventario:** Producto en condiciones óptimas para nueva venta.
 - **Reparación / reacondicionamiento:** Producto con defectos menores que pueden corregirse.
 - **Reciclaje:** Producto que no puede repararse, pero tiene materiales recuperables.
 - **Desecho:** Producto sin valor económico ni ambiental recuperable.
4. **Registro y actualización de inventarios:** Se actualizan sistemas WMS y ERP con la nueva condición y ubicación de los productos.
5. **Reempaque y disposición final:** Se preparan los productos para su siguiente destino (nuevo envío, venta en outlet, donación, etc.).

5.3 Desafíos específicos

- **Alta variabilidad:** Las devoluciones son impredecibles en volumen, estado y causa.
- **Costos elevados:** Manejar una devolución puede costar entre 1.5 y 3 veces más que un envío normal.
- **Tecnología necesaria:** Sistemas de clasificación automatizada, inspección visual por IA, integración con canales de venta.
- **Gestión del espacio:** Las devoluciones ocupan espacio rápidamente si no se procesan con agilidad.

5.4 Aplicaciones típicas

- **E-commerce y retail:** Gestión de devoluciones de ropa, electrónicos, juguetes, calzado.
- **Farmacéutico:** Devoluciones por caducidad o retiros de lotes (requiere estrictos controles).
- **Automotriz:** Devolución de piezas por garantía o error de suministro.

6. Centro de distribución para comercio electrónico (e-commerce fulfillment center)

6.1 Definición y propósito

Un centro de distribución para comercio electrónico (también llamado e-fulfillment center o direct-to-consumer center) está diseñado específicamente para atender pedidos individuales de consumidores finales (canal B2C), a diferencia de los CEDIS tradicionales que sirven mayoritariamente a tiendas o mayoristas (B2B).

Su propósito es procesar un alto volumen de pedidos de baja cantidad por pedido (frecuentemente una o dos unidades), con alta precisión y velocidad de respuesta (entregas en 24-48 horas o incluso el mismo día).

6.2 Diferencias clave con un CEDIS tradicional

Aspecto	CEDIS tradicional (B2B)	E-commerce fulfillment center (B2C)
Tamaño promedio de pedido	Cajas, pallets o camiones completos	Una o pocas unidades
Número de pedidos diarios	Miles	Decenas de miles o cientos de miles
Variabilidad de SKU	Moderada (centenares o miles)	Muy alta (decenas de miles)
Tecnología de picking	Picking por lote, por zona, por voz	Picking por onda, robots AMR, estaciones de goods-to-person

Aspecto	CEDIS tradicional (B2B)	E-commerce fulfillment center (B2C)
Empaque	Empaque industrial (termoencogible, flejes)	Empaque de consumo (cajas, sobres, protectores, etiquetas de envío)
Integración con transportes	Camiones de carga programados	Múltiples carriers (paquetería, mensajería local, correo)
Gestión de devoluciones	Baja tasa de devolución (1-3 %)	Alta tasa de devolución (hasta 40 % en moda)

6.3 Elementos críticos en un centro de fulfillment e-commerce

- **Sistema de gestión de órdenes (OMS)** integrado con tiendas en línea (marketplaces, sitio web propio).
- **Zonas de picking optimizadas:** Productos de alta rotación (clase A) en ubicaciones de fácil acceso; productos de baja rotación (clase C) en áreas más alejadas o automatizadas.
- **Estaciones de empaque eficientes:** Con suministros de diferentes tamaños y sistemas de pesaje para validar contenido.
- **Integración con transportistas:** Etiquetas de envío generadas automáticamente, clasificación por zona geográfica y rastreo en tiempo real.
- **Zona de devoluciones ágil:** Procesamiento rápido para reingresar productos vendibles al inventario.

6.4 Variantes del e-commerce fulfillment

- **Micro-fulfillment center (MFC):** Centros de distribución de pequeña escala (500-2000 m²) ubicados en zonas urbanas, diseñados para entregas en 2 horas o el mismo día. Suelen operar con robots autónomos y estaciones de picking compactas.
- **Dark store:** Una tienda física convertida en centro de fulfillment exclusivo para pedidos en línea (no abierta al público). Muy común en cadenas de supermercados y farmacias.
- **Fulfillment por proveedor externo (3PL):** Empresas como Ship-Bob, Amazon Multi-Channel Fulfillment o Mercado Envíos Full que

ofrecen servicios de almacenaje, picking, empaque y envío para marcas que no desean operar su propio CEDIS.

7. Tabla comparativa integrada de tipos de CEDIS

Tipo de CEDIS	Función principal	Permanencia de producto	Tecnología requerida	Industrias típicas
Consolidación	Agrupar cargas pequeñas en envíos grandes	Horas o días (temporal)	WMS, planificación de carga	Automotriz, retail, comercio exterior
Cross-docking	Transferencia directa recepción-expedición	Menos de 24 horas (idealmente horas)	Transportadores automáticos, WMS, sincronización	Supermercados, paquetería, JIT
Valor agregado	Personalización, kitting, etiquetado, empaque	Días o semanas	WMS, equipos de etiquetado, áreas de ensamble	Tecnología, farmacia, textil, promocional
Devoluciones	Gestión de logística inversa	Variable (días)	Inspección, clasificación, integración con canales	E-commerce, retail, farmacia
E-commerce fulfillment	Preparación de pedidos B2C individuales	Horas o días (alta rotación)	WMS, OMS, robots AMR, empaque automatizado	Comercio electrónico, venta directa al consumidor

8. Selección del tipo de CEDIS: Criterios de decisión

La elección del tipo de centro de distribución más adecuado depende de múltiples factores. Los responsables del diseño de la cadena de suministro deben considerar:

1. **Perfil de demanda:** ¿Los productos tienen alta rotación constante (cross-docking) o baja rotación estacional (consolidación)?
2. **Valor agregado requerido por el cliente:** ¿Se necesita personalización (valor agregado) o solo movimiento rápido (cross-docking)?

3. **Tasa de devoluciones esperada:** Si es alta (e-commerce), se requiere un centro de devoluciones robusto.
4. **Modelo de negocio:** ¿B2B mayorista (consolidación o cross-docking) o B2C directo al consumidor (e-commerce fulfillment)?
5. **Capacidad de inversión en tecnología:** El cross-docking avanzado y el fulfillment e-commerce demandan mayor automatización.
6. **Tiempo de entrega prometido al cliente:** Plazos muy cortos (mismo día) favorecen micro-fulfillment o cross-docking local.

En la práctica, muchos centros de distribución son híbridos, combinando funciones según el tipo de producto o cliente. Por ejemplo, un mismo CEDIS puede operar cross-docking para productos de alta rotación (clase A), almacenamiento tradicional para productos de rotación media (clase B), y una zona de valor agregado para personalizaciones de última hora.

9. Resumen del tema

- Los centros de distribución no son todos iguales. Su clasificación funcional responde a los objetivos estratégicos de la cadena de suministro.
- El centro de consolidación reduce costos de transporte al agrupar cargas pequeñas en envíos de mayor tamaño.
- El cross-docking elimina prácticamente el almacenamiento, acelerando el flujo de productos desde la recepción hacia la expedición.
- El centro de valor agregado realiza actividades de personalización, kitting y etiquetado que diferencian el producto cerca del punto de consumo.
- El centro de devoluciones gestiona la logística inversa, un proceso crítico en la era del comercio electrónico.
- El centro de fulfillment e-commerce está diseñado para manejar un alto volumen de pedidos individuales con rapidez, precisión y capacidad de devolución.
- La selección del tipo de CEDIS debe basarse en un análisis cuidadoso del perfil de demanda, modelo de negocio, nivel de servicio requerido y capacidad de inversión tecnológica.

Preguntas de reflexión para el estudiante

1. ¿En qué situación sería más conveniente operar un centro de consolidación en lugar de un cross-docking? ¿Y viceversa?

2. ¿Por qué el e-commerce fulfillment center requiere una tecnología más avanzada que un centro de distribución tradicional B2B?

3. ¿Cómo afecta la alta tasa de devoluciones del comercio electrónico al diseño y operación de un centro de distribución omnicanal?

4. ¿Qué tipo de CEDIS recomendaría para una empresa que vende muebles modulares bajo pedido (personalización de colores y telas) con entregas a domicilio en 5 días? Justifique su respuesta.

Capítulo 3

Análisis de la red logística: Ubicación geográfica, número de CEDIS, cobertura y nivel de servicio

1. Introducción al análisis de la red logística

La red logística de una empresa está conformada por el conjunto de instalaciones (plantas de producción, centros de distribución, almacenes, cruces fronterizos, puertos, etc.) y los flujos de productos e información que las conectan. Dentro de esta red, los centros de distribución (CEDIS) ocupan una posición central, pues son los nodos donde se concentran, procesan y redistribuyen los productos hacia los clientes finales o hacia otros eslabones de la cadena de suministro.

El análisis de la red logística es un proceso estratégico que busca responder preguntas fundamentales: ¿Cuántos centros de distribución se necesitan? ¿Dónde deben ubicarse? ¿A qué clientes o regiones debe atender cada uno? ¿Qué nivel de servicio se puede ofrecer desde cada ubicación? Las respuestas a estas preguntas determinan en gran medida los costos logísticos totales, la velocidad de respuesta al mercado y la competitividad general de la organización.

Este tema aborda los cuatro pilares del diseño de la red logística desde la perspectiva de los centros de distribución: ubicación geográfica, número de CEDIS, cobertura territorial y nivel de servicio. Cada uno de estos elementos interactúa con los demás, generando compensaciones (*trade-offs*) que los responsables de la cadena de suministro deben equilibrar cuidadosamente.

2. Ubicación geográfica de los centros de distribución

2.1 Importancia estratégica de la ubicación

La decisión de ubicación geográfica de un centro de distribución es una de las más críticas en el diseño de la red logística, ya que sus efectos son de largo plazo (horizonte típico de 5 a 10 años o más) y tiene un impacto directo en:

- **Costos de transporte:** Tanto de entrada (desde proveedores o plantas) como de salida (hacia clientes).

- **Tiempos de entrega:** Distancias más cortas permiten plazos de entrega más reducidos.
- **Costos de inventario:** La ubicación afecta los niveles de stock de seguridad requeridos.
- **Costos operativos del CEDIS:** Terrenos, mano de obra, impuestos, servicios públicos.
- **Capacidad de expansión futura:** Disponibilidad de terrenos, vías de acceso, infraestructura.

2.2 Factores determinantes en la selección de ubicación

Los analistas de redes logísticas consideran múltiples factores, agrupables en las siguientes categorías:

2.2.1 Factores relacionados con los mercados y clientes

- **Proximidad a los centros de consumo:** Ubicar el CEDIS cerca de los clientes finales reduce costos de transporte de salida y mejora el nivel de servicio.
- **Densidad geográfica de la demanda:** Zonas con alta concentración de clientes justifican uno o más CEDIS locales.
- **Tiempo de entrega prometido:** Si la empresa ofrece entregas en 24 horas, el CEDIS debe ubicarse a no más de 200-300 km de la mayoría de los clientes (considerando tiempos de tránsito).

2.2.2 Factores relacionados con proveedores y plantas

- **Proximidad a fuentes de abastecimiento:** Especialmente en industrias con materias primas de alto peso o volumen (ej. bebidas, construcción).
- **Frecuencia de reaprovisionamiento:** Si los proveedores envían diariamente, la distancia al CEDIS debe ser reducida para minimizar costos de transporte de entrada.

2.2.3 Factores de infraestructura y costos

- **Disponibilidad de transporte:** Cercanía a autopistas, ferrocarriles, puertos marítimos o aeropuertos de carga.
- **Costo del suelo y renta:** Varía drásticamente entre zonas urbanas, periurbanas y rurales.
- **Disponibilidad y costo de mano de obra:** Personal operativo (pickers, montacarguistas) y administrativo.
- **Servicios públicos:** Electricidad (crítica para sistemas automatizados), agua, telecomunicaciones.

2.2.4 Factores institucionales y de riesgo

- **Incentivos fiscales:** Algunos municipios o estados ofrecen exenciones de impuestos para atraer centros de distribución.
- **Regulaciones ambientales y laborales:** Restricciones a horarios de operación, emisiones, ruido.
- **Riesgos geopolíticos y naturales:** Zonas de alta sismicidad, inundaciones, huracanes, conflictos sociales.

2.3 Métodos para la selección de ubicación

Existen diversos métodos, desde los más simples hasta los más sofisticados:

Método	Descripción	Aplicación típica
Centro de gravedad	Calcula la ubicación que minimiza la suma de distancias ponderadas por volumen de demanda.	Estimación inicial para una región homogénea.
Modelos de cobertura	Busca ubicar CEDIS de modo que todos los clientes queden dentro de una distancia o tiempo máximo.	Redes de servicio urgente (ambulancias, repuestos críticos).
Modelos de mediana (p-median)	Minimiza la distancia total ponderada seleccionando *p* ubicaciones entre un conjunto de candidatos.	Redes regionales de retail o farmacias.
Optimización con programación matemática	Resuelve problemas complejos con múltiples orígenes, destinos, restricciones de capacidad y costos fijos.	Redes nacionales o multinacionales con múltiples productos.

Método	Descripción	Aplicación típica
Simulación	Evalúa el desempeño de distintas configuraciones bajo escenarios de demanda variable.	Redes con alta incertidumbre (e-commerce, moda).

2.4 Ejemplo práctico de selección de ubicación

Una empresa de distribución de alimentos perecederos debe elegir entre tres ciudades candidatas (A, B, C) para instalar un nuevo CEDIS que atenderá a 10 ciudades con demanda conocida. El análisis considera:

- Distancia promedio ponderada a los clientes (menor es mejor).
- Costo de transporte por kilómetro (varía por tipo de carretera).
- Costo operativo del CEDIS (renta, mano de obra, impuestos).
- Nivel de servicio alcanzable (porcentaje de clientes dentro de 200 km).

La ciudad B puede tener una distancia promedio ligeramente mayor que la A, pero costos operativos significativamente más bajos y mejor infraestructura vial, resultando en una decisión óptima a favor de B. Este tipo de análisis requiere datos precisos y modelado cuidadoso.

3. Número de centros de distribución

3.1 El trade-off fundamental: Más CEDIS vs. menos CEDIS

Una de las decisiones más complejas en el diseño de la red logística es determinar el número óptimo de centros de distribución. No existe una respuesta única; depende del equilibrio entre múltiples factores contrapuestos.

3.1.1 Ventajas de aumentar el número de CEDIS

Ventaja	Explicación
Menor distancia a los clientes	Los clientes están más cerca de al menos un CEDIS, reduciendo tiempos y costos de transporte de salida.
Mejor nivel de servicio	Se pueden ofrecer plazos de entrega más cortos (entregas el mismo día o al siguiente día).

Ventaja	Explicación
Menor costo de transporte de salida	Las rutas son más cortas y pueden consolidarse mejor.
Reducción de inventario en tránsito	El tiempo de tránsito menor reduce el capital invertido en productos que están en movimiento.

3.1.2 Desventajas de aumentar el número de CEDIS

Desventaja	Explicación
Mayor costo de inventario total	Cada CEDIS debe mantener un inventario de seguridad independiente, aumentando el stock total en la red (efecto de pooling inverso).
Mayor costo operativo fijo	Más instalaciones implican más rentas, más personal de gestión, más sistemas WMS, más equipos.
Mayor costo de transporte de entrada	Los proveedores deben enviar a múltiples CEDIS, perdiendo economías de escala en el transporte de aprovisionamiento.
Mayor complejidad de gestión	Coordinar inventarios, reabastecimientos y flujos entre múltiples CEDIS es más difícil.

3.2 El concepto de costo total de la red logística

El número óptimo de CEDIS es aquel que minimiza el costo total de la red logística, definido como:

Costo Total = Costo de transporte de entrada + Costo de transporte de salida + Costo de inventario + Costo operativo de CEDIS + Costo de manejo de materiales

Gráficamente, la relación suele ser:

- **Costo de transporte de salida:** Decrece al aumentar el número de CEDIS (los clientes están más cerca).
- **Costo de inventario:** Crece al aumentar el número de CEDIS (más stock de seguridad total).

- **Costo de transporte de entrada:** Crece al aumentar el número de CEDIS (más destinos para los proveedores).
- **Costo operativo fijo:** Crece linealmente con el número de CEDIS.

La suma de estas curvas suele tener un punto mínimo en un número intermedio de CEDIS. Por ejemplo, para una red nacional, podrían ser óptimos 3 o 4 CEDIS, mientras que para una red regional podrían ser óptimos 1 o 2.

3.3 Casos extremos: Un solo CEDIS vs. muchos CEDIS

Escenario	Un solo CEDIS (centralizado)	Muchos CEDIS (descentralizado)
Industrias típicas	Productos de bajo valor por kg, demanda concentrada, economías de escala fuertes	Productos de alto valor por kg, demanda dispersa, nivel de servicio crítico
Ejemplos	Materiales de construcción, granos básicos, papel higiénico	Repuestos de maquinaria, medicamentos de urgencia, moda de lujo
Nivel de servicio	Plazos largos (3-7 días)	Plazos cortos (mismo día o 24 horas)
Costo de inventario	Bajo (efecto de pooling)	Alto (multiplicación de stocks de seguridad)
Costo de transporte de salida	Alto (largas distancias a clientes)	Bajo (clientes cerca de algún CEDIS)

3.4 Fórmula simplificada para estimar número óptimo de CEDIS

Existen modelos analíticos que permiten una primera aproximación. Una fórmula clásica (basada en el modelo de pérdida cuadrada de inventario) sugiere que el número óptimo de CEDIS (n^*) es proporcional a la raíz cuadrada de la relación entre el costo de transporte de salida y el costo de inventario por almacén. En la práctica, se utilizan modelos de optimización con datos reales.

4. Cobertura territorial

4.1 Definición de cobertura

La cobertura territorial de un centro de distribución se refiere al área geográfica (región, provincia, estado, zona de código postal) que dicho CEDIS está designado para atender. La cobertura puede definirse en términos de:

- Distancia máxima (ej. 300 km a la redonda).
- Tiempo máximo de tránsito (ej. 4 horas de viaje).
- Zonas administrativas (ej. todos los municipios de un estado).
- Códigos postales (ej. códigos 01000 a 01999).

4.2 Tipos de cobertura

Tipo de cobertura	Descripción	Ejemplo
Cobertura exclusiva	Cada cliente es atendido por un único CEDIS predefinido.	Un supermercado siempre recibe de su CEDIS regional asignado.
Cobertura múltiple	Un cliente puede ser atendido por más de un CEDIS (por disponibilidad o costo).	Un e-commerce puede enviar desde el CEDIS que tenga inventario disponible.
Cobertura jerárquica	Existen CEDIS de primer nivel (regionales) y de segundo nivel (locales).	CEDIS nacional alimenta a CEDIS regionales, que alimentan a CEDIS locales.
Cobertura dinámica	La asignación cliente-CEDIS cambia según condiciones de demanda, inventario o tráfico.	Asignación en tiempo real en plataformas de delivery.

4.3 Diseño de zonas de cobertura

El diseño de zonas de cobertura busca equilibrar:

- **Carga de trabajo equilibrada entre CEDIS:** evitar que un CEDIS esté sobrecargado mientras otro está infrautilizado.
- **Minimización de cruces geográficos:** Evitar que zonas de cobertura se traslapen innecesariamente (aunque en modelos de cobertura múltiple el traslape es deliberado).

- **Continuidad geográfica:** Generalmente, se prefieren zonas contiguas para simplificar la gestión de rutas.

Herramientas como los diagramas de Voronoi (polígonos de Thiessen) se utilizan para dividir un territorio en zonas de influencia donde cada punto pertenece al CEDIS más cercano en distancia rectilínea. En la práctica, se ajustan por tiempos reales de tránsito, infraestructura vial y fronteras políticas.

4.4 Cobertura y nivel de servicio

La cobertura está directamente vinculada al nivel de servicio que se puede ofrecer. Un cliente dentro de la zona de cobertura primaria (ej. radio de 100 km) puede recibir entregas en 24 horas. Un cliente en la zona de cobertura secundaria (100-200 km) podría recibir en 48 horas. Más allá de la cobertura máxima, el cliente podría no ser atendido directamente desde ese CEDIS o tendría que asumir costos adicionales.

5. Nivel de servicio

5.1 Definición y dimensiones del nivel de servicio

El nivel de servicio en el contexto de los centros de distribución se refiere al conjunto de desempeños que la red logística ofrece a sus clientes. No es un concepto unidimensional; incluye múltiples atributos:

Dimensión del nivel de servicio	Descripción	Indicador típico
Tiempo de ciclo del pedido	Tiempo desde que el cliente realiza el pedido hasta que lo recibe.	Promedio y percentil 95 (ej. 95 % de pedidos en <48 horas)
Confiabilidad de la entrega	Capacidad de cumplir con la fecha prometida.	OTIF (On Time In Full) - porcentaje de pedidos entregados a tiempo y completos
Precisión del pedido	Pedidos enviados sin errores de producto, cantidad o daños.	% de pedidos sin errores

Dimensión del nivel de servicio	Descripción	Indicador típico
Disponibilidad de producto	Probabilidad de que un producto esté en inventario cuando el cliente lo solicita.	Tasa de cumplimiento (fill rate), % de líneas de pedido surtidas completamente
Flexibilidad	Capacidad de atender pedidos urgentes, cambios de cantidad o fechas.	Tiempo de respuesta a cambios
Información y trazabilidad	Capacidad de proporcionar seguimiento en tiempo real del pedido.	% de pedidos con rastreo disponible
Gestión de devoluciones	Facilidad y rapidez para procesar devoluciones.	Tiempo de procesamiento de devolución

5.2 El nivel de servicio como variable de diseño

El nivel de servicio no es un parámetro fijo; es una variable de diseño que la empresa elige en función de su estrategia competitiva. Existen diferentes posicionamientos:

- **Nivel de servicio básico:** Cumple con lo mínimo aceptable en el mercado (ej. entregas en 5-7 días, precisión del 95 %). Asociado a estrategias de bajo costo.
- **Nivel de servicio estándar:** Lo que ofrece la mayoría de los competidores (ej. entregas en 2-3 días, precisión del 98 %). Asociado a estrategias de amplio mercado.
- **Nivel de servicio premium:** Superior al mercado (ej. entregas en 24 horas o mismo día, precisión del 99.5 %). Asociado a estrategias de diferenciación o nicho de alto valor.

5.3 Compensaciones entre nivel de servicio y costo

Mejorar el nivel de servicio casi siempre incrementa los costos logísticos. Las principales compensaciones son:

Mejora deseada en nivel de servicio	Implicación en costos
Reducir el tiempo de entrega de 3 días a 24 horas	Aumenta el número de CEDIS (más inventario), o cambia a transporte urgente (aéreo vs. terrestre)
Aumentar la disponibilidad del 95 % al 99 %	Incrementa drásticamente los niveles de inventario de seguridad (efecto no lineal)
Aumentar la precisión del 98 % al 99.5 %	Requiere más controles de calidad, tecnología (verificación por peso, escáneres), y entrenamiento
Ofrecer entregas en horarios específicos (ventanas de 2 horas)	Aumenta la complejidad de rutas y la flota de transporte

5.4 Determinación del nivel de servicio objetivo

El nivel de servicio objetivo debe determinarse considerando:

1. **Expectativas del cliente:** ¿Qué nivel de servicio considera aceptable, bueno o excelente? (Estudios de mercado).
2. **Oferta de la competencia:** ¿Qué niveles de servicio ofrecen los competidores directos?
3. **Disposición a pagar del cliente:** ¿Cuánto pagaría el cliente por un nivel de servicio superior? (Análisis de sensibilidad al precio).
4. **Costo marginal de mejorar el servicio:** ¿Cuánto cuesta pasar del 95 % al 96 % de disponibilidad? ¿Y al 97 %?
5. **Impacto en la lealtad y retención:** ¿Cómo afecta el nivel de servicio a la repetición de compra y al valor de vida del cliente?

En la práctica, muchas empresas segmentan a sus clientes y ofrecen diferentes niveles de servicio: un nivel básico para clientes sensibles al precio y un nivel premium para clientes que valoran la velocidad y la confiabilidad.

6. Integración de los cuatro elementos: Número, ubicación, cobertura y nivel de servicio

Estos cuatro elementos no se deciden de manera aislada. La tabla siguiente muestra cómo interactúan:

Decisión	Impacto en número de CEDIS	Impacto en ubicación	Impacto en cobertura	Impacto en nivel de servicio
Aumentar número de CEDIS	—	Se requieren más sitios	Cada CEDIS cubre zonas más pequeñas	Mejora el nivel de servicio (menor tiempo de entrega)
Ubicar CEDIS más cerca de clientes	Puede requerir más CEDIS	Se eligen ubicaciones con alta densidad de demanda	Las zonas de cobertura se reducen	Mejora significativamente el tiempo de ciclo
Ampliar cobertura de un CEDIS	Podría reducir el número necesario	La ubicación debe ser más central	Mayor área por CEDIS	Empeora el nivel de servicio (mayores distancias)
Aumentar nivel de servicio (menor tiempo)	Generalmente requiere más CEDIS	Ubicaciones más cercanas a los clientes	Cobertura más reducida por CEDIS	—

6.1 Metodología integrada de diseño de red logística

Un proceso típico para diseñar o rediseñar una red de centros de distribución sigue estos pasos:

1. **Definición de objetivos estratégicos:** Nivel de servicio deseado, presupuesto de inversión, mercados prioritarios.
2. **Recopilación de datos:** Demanda actual y proyectada por zona geográfica, ubicaciones de proveedores, costos de transporte, costos operativos de CEDIS.
3. **Generación de alternativas de red:** Diferentes números de CEDIS (ej. 1, 2, 3, 4, 5) y ubicaciones candidatas.

4. **Modelado y simulación:** Para cada alternativa, se calculan los costos totales (transporte entrada, transporte salida, inventario, operación fija) y el nivel de servicio alcanzable.
5. **Evaluación de compensaciones (*trade-offs*):** Se identifican las alternativas eficientes (frontera de Pareto) entre costo total y nivel de servicio.
6. **Selección y plan de implementación:** Se elige la alternativa que mejor se ajusta a la estrategia de negocio y se desarrolla un plan de transición.

6.2 Ejemplo integrado

Una cadena de farmacias con 500 puntos de venta en un país de 1000 km de largo por 400 km de ancho evalúa tres opciones de red:

Alternativa	Número de CEDIS	Ubicaciones	Cobertura promedio	Tiempo de entrega promedio	Costo total anual	Disponibilidad (fill rate)
A (centralizada)	1	Centro del país	500 km radio	48 horas	\$10 M	92 %
B (regional)	3	Norte, Centro, Sur	200 km radio	24 horas	\$13 M	96 %
C (local)	8	Principales ciudades	80 km radio	12 horas	\$18 M	98 %

Si la estrategia de la farmacia es competir por costo (medicamentos genéricos, clientes sensibles al precio), elegirá la alternativa A. Si compite por servicio (medicamentos de especialidad, urgencias), elegirá la B o incluso la C en zonas urbanas densas. En la práctica, podrían elegir una red híbrida: 1 CEDIS central para abasto rutinario y 2 CEDIS locales para entregas urgentes en ciudades grandes.

7. Resumen del tema

- El análisis de la red logística determina el número, ubicación, cobertura y nivel de servicio de los centros de distribución, decisiones que afectan los costos y la competitividad por muchos años.
- La ubicación geográfica de cada CEDIS debe considerar la proximidad a clientes y proveedores, la infraestructura de transporte, los costos

operativos y los riesgos. Existen métodos cuantitativos (centro de gravedad, modelos de cobertura, optimización) para apoyar la decisión.

- El número de CEDIS implica una compensación fundamental: más CEDIS mejoran el nivel de servicio y reducen el transporte de salida, pero aumentan los costos de inventario, transporte de entrada y costos fijos. El óptimo minimiza el costo total de la red.
- La cobertura territorial define qué clientes atiende cada CEDIS, pudiendo ser exclusiva, múltiple, jerárquica o dinámica. El diseño de zonas de cobertura busca equilibrar la carga de trabajo y minimizar distancias.
- El nivel de servicio es multidimensional (tiempo, confiabilidad, precisión, disponibilidad, flexibilidad). Mejorar el nivel de servicio incrementa los costos, por lo que debe elegirse en función de la estrategia competitiva y la disposición a pagar del cliente.
- Los cuatro elementos están fuertemente interrelacionados; el diseño de la red logística requiere modelar y evaluar alternativas completas, no decisiones aisladas.

Preguntas de reflexión para el estudiante

1. ¿Por qué la decisión de ubicación de un centro de distribución se considera una decisión estratégica de largo plazo? ¿Qué factores impiden cambiarla con frecuencia?

2. Explique con un ejemplo concreto cómo un aumento en el nivel de servicio objetivo (por ejemplo, pasar de entregas en 48 horas a entregas en 24 horas) afectaría el número óptimo de CEDIS y sus ubicaciones.

3. Una empresa de repuestos automotrices atiende todo el país con un solo CEDIS ubicado en el centro. Proponga un análisis de los costos y beneficios de abrir un segundo CEDIS en la costa. ¿Qué información necesitaría para tomar la decisión?

4. ¿En qué tipo de negocio sería preferible tener muchos CEDIS con cobertura exclusiva? ¿En qué tipo sería preferible tener pocos CEDIS con cobertura múltiple y dinámica?

5. Utilizando el concepto de compensación (*trade-off*), explique por qué una empresa de comercio electrónico que ofrece envíos gratis en 24 horas puede tener dificultades para ser rentable si su volumen de pedidos no es muy alto.

6. ¿Cómo influye la densidad de población en la decisión de cobertura territorial? Compare una zona rural dispersa con una zona urbana densa.

Capítulo 4

Modelos de operación: Operador propio (propietario), 3PL, 4PL y modelos híbridos

1. Introducción a los modelos de operación de centros de distribución

Una de las decisiones estratégicas más relevantes que debe tomar una empresa en el diseño de su cadena de suministro es definir quién operará sus centros de distribución. Esta decisión, conocida como modelo de operación o *outsourcing* logístico, determina el grado de control que la empresa mantiene sobre sus operaciones logísticas, el nivel de inversión requerido, la flexibilidad para adaptarse a cambios en la demanda y la capacidad de acceder a tecnologías y conocimientos especializados.

Tradicionalmente, las empresas operaban sus propios centros de distribución con personal, equipos y sistemas propios (modelo operador propio o in-house). Sin embargo, a partir de la década de 1990, la externalización logística ganó terreno, dando lugar a los proveedores de servicios logísticos conocidos como 3PL (Third Party Logistics) y, posteriormente, a los integradores de cadena de suministro denominados 4PL (Fourth Party Logistics). En la actualidad, coexisten múltiples modelos, incluyendo opciones híbridas que combinan lo mejor de cada enfoque.

Este tema presenta una clasificación sistemática de los modelos de operación, analizando para cada uno sus características, ventajas, desventajas, requisitos y aplicaciones típicas. Se enfatiza la importancia de alinear el modelo de operación con la estrategia corporativa, el perfil de los productos, la estacionalidad de la demanda y la capacidad financiera de la organización.

2. Modelo de operador propio (propietario)

2.1 Definición y características

En el modelo de operador propio (también llamado in-house, propietario o self-operated), la empresa es dueña del centro de distribución (ya sea en propiedad o en arrendamiento a largo plazo) y emplea su propio personal, equipos, sistemas de información (WMS, ERP) y procesos operativos. La

empresa asume la totalidad de la inversión inicial (infraestructura, tecnología, equipos) y los costos operativos recurrentes (nómina, mantenimiento, servicios públicos, seguros).

Características distintivas:

Atributo	Descripción
Propiedad de activos	La empresa posee o arrienda directamente el inmueble y los equipos
Personal	Empleados directos de la empresa (operadores, supervisores, gerentes)
Sistemas de información	WMS y otros sistemas desarrollados o adquiridos por la empresa
Control operativo	Total: la empresa define procesos, horarios, políticas y métricas
Responsabilidad legal	Directa sobre accidentes, daños, incumplimientos, impuestos
Inversión inicial	Alta (construcción o adecuación, equipos, sistemas)
Costos fijos	Altos (independientes del volumen operado)
Costos variables	Medios (proporcionales a la actividad, principalmente mano de obra)

2.2 Ventajas del modelo propietario

Ventaja	Explicación
Control total sobre la operación	La empresa define estándares de calidad, seguridad, tiempos de respuesta y puede modificarlos sin negociar con terceros.
Alineación estratégica directa	La operación logística se diseña a la medida de los productos, clientes y procesos de negocio de la empresa.
Protección de información sensible	No se comparten datos de ventas, inventarios, proveedores o clientes con terceros (ventaja competitiva).
Capacidad de innovación interna	La empresa puede implementar nuevas tecnologías o procesos sin depender de la aprobación o capacidad de un externo.
Fidelización y cultura de servicio	El personal se identifica con la marca y los valores de la empresa, lo que puede traducirse en mayor compromiso.
Activo patrimonial	Si el inmueble es propio, representa un activo que puede revalorizarse y servir como garantía para financiamiento.
Flexibilidad para cambios mayores	La empresa puede rediseñar completamente la operación (layout, tecnología, procesos) sin restricciones contractuales.

2.3 Desventajas del modelo propietario

Desventaja	Explicación
Alta inversión inicial	Construir o adecuar un centro de distribución requiere millones de dólares, lo que puede descapitalizar a la empresa.
Costos fijos elevados	Aunque el volumen baje (estacionalidad o crisis), los costos de renta, personal base, mantenimiento y seguros continúan.
Rigidez ante fluctuaciones	Es difícil escalar rápidamente la capacidad ante picos de demanda o reducirla en temporadas bajas.
Requiere competencias logísticas	La empresa debe desarrollar capacidades en gestión de almacenes, transporte, tecnología, seguridad, etc., que no son su negocio principal.
Menor acceso a mejores prácticas	Al operar internamente, la empresa puede quedar rezagada respecto a innovaciones que los 3PL especializados implementan más rápidamente.
Distracción del negocio principal	La administración de centros de distribución consume tiempo y recursos de la alta dirección que podrían dedicarse a la estrategia central.
Riesgo de obsolescencia tecnológica	La empresa debe invertir continuamente en actualizar sistemas y equipos, lo que puede ser costoso.

2.4 Aplicaciones típicas del modelo propietario

- Empresas con logística como ventaja competitiva central (ej. Amazon, Mercado Libre, Walmart, Zara). Para estas compañías, la excelencia logística es parte fundamental de su propuesta de valor.
- Empresas que manejan productos con alta confidencialidad (ej. prototipos, tecnología militar, fórmulas secretas, productos de lujo).
- Operaciones con volúmenes muy estables y alta previsibilidad, donde los costos fijos se amortizan bien.
- Empresas con capital disponible y visión de largo plazo (5-10 años o más).
- Sectores regulados donde la responsabilidad directa es exigida por la ley (ej. farmacéutico, alimentos perecederos bajo ciertas normas).

3. Modelo 3PL (Third Party Logistics)

3.1 Definición y características

El modelo 3PL (Third Party Logistics —logística de terceros) consiste en externalizar total o parcialmente la operación de los centros de distribución a un proveedor especializado en servicios logísticos. La empresa cliente (embarcador o shipper) contrata al 3PL para que realice actividades como recepción, almacenamiento, preparación de pedidos, empaque y expedición, generalmente en instalaciones operadas por el 3PL (aunque también puede ser en instalaciones del cliente, con personal del 3PL).

Los 3PL pueden ser:

- **Basados en activos:** Poseen almacenes, flota de transporte, equipos de manejo, sistemas WMS.
- **No basados en activos:** Actúan como intermediarios, subcontratando la operación a otros proveedores (frontera difusa con 4PL).

Características distintivas:

Atributo	Descripción
Propiedad de activos	Generalmente del 3PL (almacenes, equipos, sistemas)
Personal	Empleados del 3PL, aunque puede haber personal del cliente en roles de supervisión
Sistemas de información	WMS y TMS del 3PL, con integración al ERP del cliente
Control operativo	El cliente define niveles de servicio y KPIs; el 3PL ejecuta
Responsabilidad legal	Del 3PL frente al cliente, según contrato (SLAs)
Inversión inicial	Nula o muy baja para el cliente (tarifas por servicio)
Costos fijos	Para el cliente: ninguno (paga por volumen o transacción)
Costos variables	Para el cliente: proporcionales al volumen operado (ej. por pallet almacenado, por línea de pedido preparada)

3.2 Ventajas del modelo 3PL

Ventaja	Explicación
Conversión de costos fijos en variables	El cliente paga solo por los servicios que utiliza, lo que mejora la liquidez y reduce el riesgo.
Acceso a economías de escala	Los 3PL operan múltiples clientes en un mismo almacén, distribuyendo los costos fijos entre varios.
Flexibilidad ante estacionalidad	El 3PL puede absorber picos de demanda compartiendo recursos entre clientes o usando su red de instalaciones.
Acceso a tecnología y mejores prácticas	Los 3PL invierten en WMS, automatización y capacitación, que el cliente aprovecha sin la inversión directa.
Reducción de tiempo de implementación	El cliente puede comenzar a operar en semanas, no en los meses o años que tomaría construir su propio CEDIS.
Enfoque en el negocio principal	La empresa se concentra en diseño, producción, ventas y marketing, dejando la logística a especialistas.
Cobertura geográfica rápida	Un 3PL con múltiples ubicaciones permite al cliente expandirse a nuevas regiones sin invertir en infraestructura.

3.3 Desventajas del modelo 3PL

Desventaja	Explicación
Menor control operativo	El cliente depende de las decisiones, procesos y prioridades del 3PL, que puede servir a múltiples clientes simultáneamente.
Riesgo de fuga de información	El 3PL maneja datos de ventas, inventarios y proveedores de varios clientes, potencialmente competidores entre sí.
Costos ocultos o variables impredecibles	Si el volumen varía más de lo previsto, los costos pueden superar los presupuestos.
Dependencia crítica	Cambiar de 3PL es costoso y complejo (transferencia de inventarios, sistemas, conocimiento operativo).
Posible falta de personalización	Los 3PL estandarizan procesos para servir a múltiples clientes, lo que puede limitar adaptaciones específicas.
Riesgo de baja calidad en picos	Si el 3PL prioriza a otros clientes más grandes, el servicio del cliente puede deteriorarse.

3.4 Tipos de contratos 3PL

Tipo de contrato	Descripción	Aplicación típica
Por transacción	Se paga por cada actividad (ej. \$X por pallet recibido, \$Y por línea de picking).	Volumen muy variable o estacional.
Capacidad dedicada	El 3PL reserva un espacio y personal exclusivo para el cliente dentro de sus instalaciones.	Clientes con volumen estable y requerimientos específicos.
Contrato multianual con SLAs	Acuerdo a 3-5 años con niveles de servicio garantizados (SLAs) y penalizaciones por incumplimiento.	Operaciones críticas que requieren estabilidad.
Almacenaje público	El cliente paga por el espacio que realmente ocupa (ej. \$X por pallet/día).	Muy flexible, ideal para inventario estacional o de baja rotación.

3.5 Aplicaciones típicas del modelo 3PL

- Empresas que experimentan alta estacionalidad o crecimiento rápido (ej. e-commerce, moda, juguetes).
- Empresas que entran en nuevos mercados geográficos y necesitan infraestructura logística local rápidamente.
- Pequeñas y medianas empresas (PYME) que no pueden afrontar la inversión de un CEDIS propio.
- Empresas donde la logística no es una ventaja competitiva central (ej. manufactura de bienes de bajo margen).
- Operaciones de e-commerce fulfillment donde la rapidez de escalamiento es crítica.

4. Modelo 4PL (Fourth Party Logistics)

4.1 Definición y características

El modelo 4PL (Fourth Party Logistics —logística de cuarta parte) va un paso más allá de la externalización operativa. En este modelo, el cliente contrata a un integrador de la cadena de suministro que no solo opera centros de distribución, sino que diseña, gestiona y optimiza toda la red logística del cliente, incluyendo múltiples 3PL, transportistas, almacenes y sistemas de información. El 4PL actúa como una ventanilla única para la logística del cliente, asumiendo la responsabilidad integral de los resultados.

El concepto fue popularizado por Accenture en la década de 1990 y suele definirse como: “Un integrador de la cadena de suministro que reúne y gestiona los recursos, capacidades y tecnologías de su propia organización y de otras organizaciones complementarias para proporcionar una solución integral de cadena de suministro”.

Características distintivas:

Atributo	Descripción
Propiedad de activos	Generalmente nula (el 4PL no posee almacenes ni flota; subcontrata a 3PL y transportistas)
Personal	Una combinación de personal del 4PL (gestión, análisis, tecnología) y del cliente (supervisión estratégica)
Sistemas de información	El 4PL integra sistemas de múltiples proveedores y del cliente en una plataforma única (control tower)
Control operativo	El 4PL define procesos, selecciona proveedores, negocia tarifas, y gestiona el desempeño de toda la red
Responsabilidad legal	Contractual, con fuertes SLAs y penalizaciones; el 4PL responde ante el cliente por el desempeño de toda la red
Inversión inicial	Baja para el cliente (honorarios de consultoría e implementación)
Costos	Basados en honorarios de gestión + costos operativos de los subcontratistas
Costos variables	Para el cliente: proporcionales al volumen operado (ej. por pallet almacenado, por línea de pedido preparada)

4.2 Ventajas del modelo 4PL

Ventaja	Explicación
Visibilidad integral de la cadena de suministro	El 4PL integra datos de todos los eslabones (proveedores, CEDIS, transportistas, clientes) en una sola plataforma.
Optimización de extremo a extremo	El 4PL analiza toda la red para minimizar el costo total, no solo el costo de cada componente aislado.
Ventaja	Explicación
Acceso a las mejores capacidades del mercado	El 4PL selecciona al mejor 3PL para cada región o tipo de producto, sin comprometerse con un solo proveedor.
Escalabilidad global	Ideal para empresas con operaciones en múltiples países, donde un 4PL puede gestionar complejidades aduaneras, culturales y regulatorias.
Reducción de la carga de gestión	El cliente no negocia con decenas de 3PL y transportistas; el 4PL actúa como interfaz única.
Innovación continua	El 4PL, al trabajar con múltiples clientes, identifica y transfiere mejores prácticas entre industrias.

4.3 Desventajas del modelo 4PL

Desventaja	Explicación
Pérdida casi total de control operativo	El cliente depende completamente del 4PL para el desempeño logístico, incluso más que con un 3PL.
Alta dependencia de un único integrador	Cambiar de 4PL es extremadamente complejo, pues implica reconfigurar toda la red y los sistemas.
Costos de gestión elevados	Los honorarios del 4PL (a menudo un porcentaje del gasto logístico total) pueden ser significativos.
Riesgo de desalineación estratégica	El 4PL puede priorizar sus propios intereses (ej. maximizar el uso de sus socios preferidos) sobre los del cliente.
Requiere alta madurez del cliente	El cliente debe tener procesos claros, datos confiables y capacidad para gestionar una relación estratégica compleja.
Posible pérdida de conocimiento interno	Al externalizar la gestión de la cadena de suministro, el cliente puede perder capacidades que luego sean difíciles de recuperar.

4.4 Aplicaciones típicas del modelo 4PL

- Empresas multinacionales con operaciones logísticas en múltiples países y decenas de proveedores.
- Empresas que han externalizado múltiples funciones logísticas a diferentes 3PL y requieren un integrador que las coordine.
- Empresas en procesos de transformación logística (ej. transición de modelo propio a externalizado).
- Grandes cadenas de retail o fabricantes con redes de distribución complejas y alto gasto logístico.
- Empresas que buscan reducir su gasto logístico total entre un 10 % y 25 % mediante una optimización integral.

5. Modelos híbridos

En la práctica, muchas empresas no adoptan un modelo puro (100 % propio, 100 % 3PL o 100 % 4PL), sino que implementan modelos híbridos que combinan elementos de diferentes enfoques según el tipo de producto, canal de venta, región geográfica o estacionalidad.

5.1 Cosourcing o modelo mixto

En el cosourcing (también llamado comanufacturing aplicado a logística), la empresa y el 3PL comparten la operación. Por ejemplo:

- La empresa es propietaria del almacén y los equipos, pero el 3PL provee el personal operativo.
- El 3PL opera el almacén, pero la empresa mantiene su propio equipo de planificación y control de inventarios.
- La empresa opera el almacén para sus productos principales (alta rotación) y externaliza a un 3PL los productos estacionales o de baja rotación.

Ventajas: Combina el control sobre la operación crítica con la flexibilidad de la externalización para lo no crítico. Permite una transición gradual hacia la externalización total.

Desventajas: Mayor complejidad de gestión (interfaz empresa-3PL), posibles conflictos de responsabilidad (¿quién responde por un error en la interfaz?).

5.2 Multi-3PL o modelo de mejores capacidades

En lugar de contratar a un solo 3PL para todos los centros de distribución, la empresa contrata a múltiples 3PL especializados por región o por tipo de producto. Por ejemplo:

- Un 3PL especializado en productos farmacéuticos (temperatura controlada, trazabilidad).
- Un 3PL especializado en e-commerce fulfillment (alta velocidad, gestión de devoluciones).
- Un 3PL especializado en productos voluminosos (muebles, electrodomésticos).

La empresa puede gestionar directamente a estos 3PL (modelo multicontratista) o contratar a un 4PL que los coordine.

Ventajas: Acceso a las mejores capacidades para cada segmento. Mayor especialización y calidad.

Desventajas: Complejidad de gestión de múltiples contratos, integración de sistemas y posible pérdida de economías de escala.

5.3 Modelo de centro de distribución propio + 3PL para picos

La empresa mantiene un centro de distribución propio dimensionado para la demanda promedio. En temporada alta (Navidad, verano, días de promoción), externaliza el excedente de volumen a un 3PL (conocido como *peak shaving* u *overflow warehousing*).

Ventajas: Optimización de la capacidad del CEDIS propio (no se sobredimensiona para picos). Costos fijos controlados.

Desventajas: Necesidad de transferir inventario entre el CEDIS propio y el 3PL, lo que genera costos de transporte y riesgos de desabasto durante la transición.

5.4 Modelo 3PL con personal del cliente (staffing model)

El 3PL proporciona el espacio, los equipos y los sistemas (WMS), pero el personal operativo es contratado y supervisado directamente por el cliente. Este modelo es frecuente cuando el cliente tiene una cultura o estándares de calidad muy específicos que prefiere controlar directamente.

Ventajas: Control sobre la calidad del personal y los procesos, sin la inversión en infraestructura.

Desventajas: El cliente asume los riesgos laborales (rotación, ausentismo, accidentes) y la carga administrativa de la nómina.

5.5 Tabla de modelos híbridos comunes

Modelo híbrido	Propiedad activos	Personal	Sistemas	Gestión	Aplicación típica
Co-sourcing	Cliente	3PL	Cliente o 3PL	Compartida	Transición hacia externalización
Multi-3PL	3PLs	3PLs	Integración cliente	Cliente o 4PL	Diferentes productos/regiones
Propio + 3PL picos	Cliente (base) + 3PL (pico)	Cliente + 3PL	Dual	Cliente	Estacionalidad fuerte
Staffing model	3PL	Cliente	3PL	Cliente	Control cultural/calidad

6. Criterios para la selección del modelo de operación

La decisión sobre el modelo de operación más adecuado no es binaria ni permanente. Debe reevaluarse periódicamente (cada 2-3 años) y considerar múltiples criterios:

6.1 Criterios estratégicos

Criterio	Pregunta clave	Modelo recomendado si la respuesta es...
Centralidad de la logística	¿La logística es una ventaja competitiva central?	Sí → Propio / No → 3PL o 4PL
Confidencialidad	¿Los productos o datos son altamente sensibles?	Sí → Propio / No → 3PL o 4PL
Diferenciación por servicio	¿La empresa compite por velocidad o personalización logística?	Sí → Propio o 3PL dedicado / No → 3PL estándar

6.2 Criterios financieros

Criterio	Pregunta clave	Modelo recomendado si la respuesta es...
Disponibilidad de capital	¿La empresa tiene capital para invertir en infraestructura?	Sí → Propio / No → 3PL o 4PL
Predicibilidad del volumen	¿El volumen de operación es estable y predecible?	Sí → Propio / No → 3PL (costos variables)
Costo de capital	¿El costo de financiamiento de la empresa es alto?	Alto → 3PL (evita inversión) / Bajo → Propio

6.3 Criterios operativos

Criterio	Pregunta clave	Modelo recomendado si la respuesta es...
Complejidad operativa	¿La operación requiere procesos muy especializados?	Alta → 3PL especializado / Baja → Propio o 3PL generalista
Escalabilidad requerida	¿Se necesita crecer o reducir capacidad rápidamente?	Sí → 3PL o 4PL / No → Propio
Cobertura geográfica	¿La empresa opera en múltiples regiones o países?	Sí → 4PL o multi-3PL / No → Propio o 3PL local

6.4 Criterios de gestión

Criterio	Pregunta clave	Modelo recomendado si la respuesta es...
Capacidad interna de gestión logística	¿La empresa tiene expertos en logística en su equipo?	Sí → Propio o co-sourcing / No → 3PL o 4PL
Tolerancia al riesgo de dependencia	¿La empresa acepta depender de un tercero para operación crítica?	Sí → 3PL/4PL / No → Propio

7. Ejemplo integrado de selección de modelo

Enunciado: Una empresa mexicana de venta de muebles por catálogo (B2C) con 20 años de operación ha manejado su propio centro de distribución (propietario) durante toda su historia. En los últimos dos años, las ventas por e-commerce han crecido un 300 %, generando una fuerte estacionalidad (picos en Buen Fin, Navidad, Hot Sale). El CEDIS propio, de 10 000 m², se ha vuelto insuficiente en temporada alta, provocando retrasos en los envíos y costos por horas extra. La empresa debe decidir su modelo de operación para los próximos cinco años.

Análisis de criterios:

Criterio	Situación de la empresa	Implicación
Centralidad de la logística	Alta (la empresa compite por tiempos de entrega)	Propender a Propio o 3PL dedicado
Estacionalidad	Muy alta (picos de 4x el promedio)	Propender a 3PL o híbrido (propio + 3PL picos)
Capital disponible	Limitado (la empresa invierte en crecimiento comercial)	Propender a 3PL o 4PL
Capacidad interna	Buena para operación estable, deficiente para picos	Propender a 3PL especializado en e-commerce
Confidencialidad	Media (muebles de diseño exclusivo, pero no ultra secreto)	Neutral

Decisión recomendada: Modelo híbrido: Propio + 3PL para picos

- Mantener el CEDIS propio dimensionado para la demanda promedio (10 000 m²).
- Contratar a un 3PL especializado en e-commerce fulfillment para manejar el excedente de temporada alta (ej. 5000 m² adicionales en noviembre-diciembre).
- Establecer un acuerdo de overflow donde el inventario se transfiere al 3PL dos semanas antes del pico y se retira dos semanas después.
- Evaluar, en un horizonte de tres años, si el crecimiento justifica migrar a un modelo 100 % 3PL o construir un segundo CEDIS propio.

Justificación: El modelo híbrido evita la inversión de construir un segundo CEDIS propio (que estaría subutilizado 10 meses al año), mantiene el control sobre la operación base (productos de alta rotación y diseño exclusivo) y aprovecha la flexibilidad del 3PL para los picos estacionales.

8. Resumen del tema

- Los modelos de operación definen quién opera los centros de distribución y bajo qué condiciones. La elección impacta la inversión, el control, la flexibilidad y el enfoque estratégico.
- El modelo operador propio (propietario) ofrece control total y alineación estratégica, pero requiere alta inversión y genera costos fijos elevados. Es adecuado cuando la logística es una ventaja competitiva central.
- El modelo 3PL externaliza la operación a un proveedor especializado, convirtiendo costos fijos en variables y aportando flexibilidad. Es ideal para empresas con estacionalidad, crecimiento rápido o capital limitado.
- El modelo 4PL externaliza la gestión integral de la cadena de suministro, actuando como integrador de múltiples 3PL y transportistas. Ofrece visibilidad y optimización de extremo a extremo, pero con alta dependencia.
- Los modelos híbridos (cosourcing, multi-3PL, propio + 3PL para picos, staffing) combinan elementos de diferentes enfoques para adaptarse a necesidades específicas.

- La selección del modelo debe basarse en criterios estratégicos, financieros, operativos y de gestión, utilizando herramientas como matrices de decisión ponderada.
- Las tendencias actuales apuntan hacia modelos más flexibles, digitales y colaborativos, como el warehousing as a service y las control towers basadas en IA.

Preguntas de reflexión para el estudiante

1. ¿Por qué una empresa como Amazon, siendo un gigante del comercio electrónico, opera sus propios centros de distribución (modelo propietario) en lugar de externalizar a 3PL? ¿Qué razones estratégicas justifican esta decisión?

2. Una pequeña empresa de moda que vende solo por internet tiene picos de ventas muy pronunciados (80 % de sus ventas ocurren en noviembre-diciembre). ¿Qué modelo de operación le recomendaría y por qué? ¿Qué riesgos debe considerar?

3. ¿Cuál es la diferencia fundamental entre un 3PL y un 4PL? ¿Puede una empresa contratar directamente a un 4PL sin tener ningún 3PL contratado previamente? Explique.

4. En un modelo híbrido de “propio + 3PL para picos”, ¿cómo se gestiona la transferencia de inventario entre ambas instalaciones? ¿Qué costos adicionales genera esta transferencia?

5. ¿Qué tipo de información confidencial podría poner en riesgo una empresa al contratar un 3PL que también sirve a sus competidores directos? ¿Cómo se mitiga este riesgo contractualmente?

6. Una empresa farmacéutica debe cumplir con estrictas normas de buenas prácticas de almacenamiento (BPA) que exigen auditorías anuales y trazabilidad total. ¿Qué modelo de operación le resulta más adecuado? ¿Por qué el modelo 4PL podría ser problemático en este sector?

7. ¿En qué circunstancias una empresa que actualmente opera con modelo propietario debería considerar migrar a un modelo 3PL? ¿Y en cuáles debería mantener el modelo propio?

II

Diseño y planificación de infraestructura

Introducción

Una vez comprendidos los fundamentos estratégicos del centro de distribución y su rol dentro de la cadena de suministro, el siguiente paso consiste en abordar uno de los aspectos más tangibles y determinantes para la eficiencia operativa: el diseño y la planificación de la infraestructura física del CEDIS. Este capítulo se adentra en las decisiones relacionadas con el espacio, la distribución, los equipos y los sistemas que conforman el entorno donde se ejecutan los procesos logísticos.

El diseño de infraestructura de un centro de distribución no es una tarea meramente arquitectónica o de ingeniería civil. Por el contrario, constituye un proceso de toma de decisiones estratégicas que impacta directamente en la productividad, los costos operativos, la seguridad del personal, la flexibilidad para adaptarse a cambios en la demanda y la sostenibilidad ambiental de la operación. Un CEDIS mal diseñado puede generar flujos ineficientes, cuellos de botella, riesgos ergonómicos para los operadores y altos costos de mantenimiento, mientras que un diseño bien planificado puede incrementar la productividad hasta en un 30 % respecto a configuraciones subóptimas.

El presente capítulo se organiza en torno a cinco grandes bloques temáticos. En primer lugar, se exponen las metodologías para el diseño de almacenes, comenzando con el análisis de los perfiles de SKU (unidades de mantenimiento de stock) y las características de la demanda, elementos que condicionan todas las decisiones posteriores. Se introduce la clasificación ABC de productos y su influencia en la asignación de espacios y tecnologías de almacenamiento.

En segundo lugar, se aborda la distribución en planta (layout), uno de los aspectos más críticos del diseño físico. Se analizan los diferentes tipos de flujo (U, I, L, T) y sus ventajas según el tipo de operación, así como el dimensionamiento de áreas funcionales como recepción, almacenamiento, picking, empaque y expedición. Se discuten criterios para minimizar recorridos, evitar cruces de flujos y optimizar el uso del espacio volumétrico.

El tercer bloque se dedica a los sistemas de almacenamiento, desde los más convencionales (estanterías selectivas, racks de doble profundidad, cantilever) hasta los sistemas compactos (*push-back*, *drive-in*) y los automatizados (AS/RS, miniload). Se analizan los criterios de selección en función de la rotación de los productos, la altura del edificio, la inversión disponible y los requerimientos de acceso a la mercancía.

En cuarto lugar, se examinan los equipos de manejo de materiales, incluyendo montacargas de distintas capacidades, transelevadores, carretillas y tecnologías de automatización móvil como los AGV (vehículos guiados automáticamente) y los AMR (robots autónomos móviles). Se discute la relación entre el equipo seleccionado y los anchos de pasillo, la altura de almacenamiento y la productividad esperada.

Finalmente, se integran criterios de seguridad, ergonomía y sostenibilidad en el diseño de infraestructura, considerando normativas aplicables, prevención de riesgos laborales, eficiencia energética y adaptabilidad para futuras expansiones o reconversiones tecnológicas.

A lo largo del capítulo, se presentan casos prácticos, ejercicios de dimensionamiento y tablas comparativas que permiten al estudiante aplicar los conceptos a situaciones reales. El objetivo es que, al finalizar su estudio, el lector sea capaz de participar activamente en el diseño o rediseño de un centro de distribución, evaluando alternativas de layout, seleccionando sistemas de almacenamiento y equipos de manejo adecuados, y justificando sus decisiones con base en criterios cuantitativos y cualitativos.

El diseño y la planificación de infraestructura constituyen la base física sobre la cual se sostienen todos los procesos operativos que se abordarán en capítulos posteriores. Un CEDIS bien concebido en su dimensión espacial y tecnológica no solo facilita la ejecución eficiente de las tareas diarias, sino que también permite absorber crecimientos futuros, adaptarse a nuevas tecnologías y operar con altos estándares de seguridad y sostenibilidad. Este capítulo ofrece las herramientas fundamentales para lograr dicho objetivo.

Capítulo 5

**Metodologías para el diseño de
almacenes: Análisis de SKU (unidades
de mantenimiento de stock), perfiles de
demanda y estacionalidad**

1. Introducción a las metodologías de diseño de almacenes

El diseño de un centro de distribución no puede realizarse de manera intuitiva o basándose únicamente en experiencias previas. Por el contrario, requiere la aplicación de metodologías sistemáticas que partan del análisis profundo de los productos que se almacenarán y manipularán, así como de los patrones de demanda que deberá atender la instalación. Estas metodologías permiten dimensionar correctamente los espacios, seleccionar los sistemas de almacenamiento adecuados, definir las zonas de mayor actividad y anticipar las variaciones estacionales que afectarán la operación.

El punto de partida de cualquier diseño de almacén o centro de distribución es el análisis de SKU (Stock Keeping Units —unidades de mantenimiento de stock). Un SKU representa cada producto distinto que se almacena, identificado por sus características únicas (tamaño, peso, rotación, condiciones de conservación, etc.). El conjunto de SKU que maneja una organización constituye su portfolio de productos, y su análisis detallado es condición necesaria para diseñar una instalación eficiente.

Junto al análisis de SKU, resulta indispensable estudiar los perfiles de demanda de cada producto: ¿con qué frecuencia se solicita? ¿En qué cantidades? ¿Qué nivel de variabilidad presenta? Estos perfiles determinan las necesidades de espacio, la velocidad de rotación y la tecnología de almacenamiento más adecuada.

Finalmente, la estacionalidad introduce una dimensión temporal en el análisis. Muchos productos presentan picos de demanda en ciertas épocas del año (Navidad, verano, días festivos, temporadas de lluvias, etc.), lo que obliga a diseñar instalaciones que puedan adaptarse a fluctuaciones significativas sin colapsar operativamente.

Este tema desarrolla las metodologías fundamentales para llevar a cabo estos análisis, proporcionando herramientas cuantitativas y cualitativas que permiten transformar datos de productos y demanda en decisiones de diseño concretas.

2. Análisis de SKU: Concepto, importancia y metodología

2.1 Definición y características de un SKU

Un SKU (Stock Keeping Unit) es la unidad más básica de identificación de un producto en términos de inventario. Cada SKU se distingue de otros por al menos una característica relevante para la gestión logística.

Las características típicas que definen un SKU incluyen:

Característica	Ejemplos
Identificador único	Código de barras, código EAN, UPC, número de parte
Dimensiones físicas	Largo, ancho, alto, volumen unitario, volumen embalado
Peso	Peso unitario, peso bruto, peso neto
Forma de presentación	Unidad individual, caja, paquete, pallet, bulto
Requerimientos especiales	Refrigeración, congelación, atmósfera controlada, protección contra golpes
Rotación esperada	Alta, media, baja (según clasificación ABC)
Valor unitario	Bajo, medio, alto (afecta decisiones de seguridad y ubicación)
Estacionalidad	Producto de temporada, producto de demanda constante

En un centro de distribución típico de retail o e-commerce, el número de SKU puede oscilar entre unos pocos miles (para una cadena de ferretería pequeña) hasta cientos de miles (para un operador logístico de moda o un marketplace en línea). En almacenes farmacéuticos o de repuestos industriales, el número de SKU también puede ser muy elevado, aunque con volúmenes por SKU generalmente menores.

2.2 Importancia del análisis de SKU para el diseño

El análisis de SKU es fundamental porque determina:

1. **El espacio total requerido:** Sumando los volúmenes de todos los SKU y considerando los niveles de inventario máximo, se obtiene una primera aproximación de los metros cúbicos necesarios.
2. Productos de diferentes alturas requieren diferentes niveles de estanterías y equipos de manejo.

3. **La tecnología de almacenamiento:** SKU pequeños y livianos pueden almacenarse en estanterías selectivas o sistemas de cajones; SKU pesados o voluminosos pueden requerir racks de doble profundidad o sistemas drive-in.
4. **La necesidad de áreas especiales:** Productos peligrosos, perecederos, de alto valor o de gran tamaño requieren zonas segregadas.
5. **La estrategia de picking:** La variedad y volumen de SKU influyen en la decisión entre picking por orden, por lote, por zona o por onda.

2.3 Metodología para el análisis de SKU

El análisis de SKU sigue una secuencia lógica de pasos que se presentan a continuación.

Paso 1: Recopilación de datos de SKU

Se debe construir una base de datos con todos los SKU activos, incluyendo para cada uno:

- Código de identificación.
- Descripción comercial.
- Dimensiones (largo, ancho, alto) en su unidad de almacenamiento típica (unidad, caja, pallet).
- Peso unitario.
- Unidad de medida de almacenamiento (pieza, caja, pallet, rollo, etc.).
- Condiciones especiales (temperatura, humedad, apilabilidad, fragilidad).
- Rotación anual o mensual en unidades físicas.
- Valor unitario (costo o precio de venta).

Paso 2: Clasificación ABC de SKU

La clasificación ABC (también conocida como análisis de Pareto o regla 80/20) es una herramienta fundamental que ordena los SKU según su importancia relativa, normalmente medida por el volumen de movimiento (número de unidades vendidas o manipuladas) o por el valor de rotación (volumen $\times$ precio unitario).

Categoría	Porcentaje de SKU	Porcentaje de movimiento/valor	Implicaciones para el diseño
Clase A	10-20 %	70-80 %	Deben ubicarse en las zonas de más fácil acceso (áreas de picking rápido, niveles medios de estanterías). Alta rotación justifica automatización o sistemas de almacenamiento dinámico.
Clase B	20-30 %	15-25 %	Ubicación intermedia. Pueden almacenarse en estanterías convencionales en zonas accesibles, pero no prioritarias.
Clase C	50-70 %	5-10 %	Baja rotación. Pueden ubicarse en zonas más alejadas, en alturas superiores o inferiores de las estanterías, o en sistemas de almacenamiento compacto (mayor densidad, menor accesibilidad).

Ejemplo de aplicación: En un centro de distribución de electrónicos, los SKU clase A (teléfonos de alta gama, audífonos populares) podrían ocupar el 10 % del espacio, pero generar el 75 % de las líneas de pedido. Se ubicarían en estanterías selectivas a la altura de la cintura en la zona de picking principal. Los SKU clase C (cargadores de modelos antiguos, cables especializados) ocuparían el 60 % del espacio, pero solo generarían el 8 % de los movimientos; podrían almacenarse en racks push-back en la parte trasera del almacén.

Paso 3: Análisis de la relación peso-volumen

No todos los SKU tienen la misma relación entre su peso y el volumen que ocupan. Esta relación, conocida como densidad de almacenamiento, influye en la selección de equipos de manejo y en el diseño de la estructura de almacenamiento.

- **Productos livianos y voluminosos (ej. plásticos expandidos, cojines, textiles):** requieren mucho espacio, pero poca capacidad de carga en estanterías. Pueden almacenarse en sistemas de gran altura con baja densidad de carga por metro cuadrado.

- **Productos pesados y compactos (ej. piezas metálicas, herramientas, baterías):** requieren estanterías reforzadas y equipos de manejo de alta capacidad (montacargas de gran tonelaje).
- **Productos con densidad intermedia (ej. alimentos enlatados, libros, juguetes):** representan la mayoría de los SKU y pueden manejarse con soluciones estándar.

Paso 4: Análisis de compatibilidad y segregación

Algunos SKU no pueden almacenarse juntos debido a:

- **Compatibilidad química:** Productos inflamables no deben estar cerca de productos oxidantes; alimentos no deben almacenarse con productos químicos.
- **Requerimientos de temperatura:** Productos refrigerados (2-8°C), congelados (-18°C o menos) y a temperatura ambiente requieren zonas separadas.
- **Riesgo de contaminación cruzada:** Alérgenos, productos con olores fuertes, sustancias peligrosas.
- **Seguridad:** Productos de alto valor (electrónicos, joyas, medicamentos controlados) requieren áreas con acceso restringido y sistemas de videovigilancia.

El análisis de compatibilidad da lugar a zonificaciones funcionales dentro del almacén, cada una con sus propios requisitos de infraestructura, control de acceso y sistemas de monitoreo.

Paso 5: Determinación de la unidad de almacenamiento y manipulación

Cada SKU puede ser recibido, almacenado y despachado en diferentes unidades. Es necesario definir la unidad de carga estándar para cada producto o familia de productos:

Unidad de carga	Descripción	Ejemplo
Unidad individual	Pieza suelta, sin embalajese- cundario	Un teléfono, una camisa, un libro
Caja	Contenedor secundario con múltiples unidades	Caja con 12 latas de refresco

Unidad de carga	Descripción	Ejemplo
Bandeja o contenedor plástico	Unidad reusable para almacenamiento interno	Bandeja con 50 piezas pequeñas (tornillos, conectores)
Pallet	Plataforma de madera o plástico con carga unitarizada	Pallet con 40 cajas de cereales
Contenedor especial	Tambores, bidones, jaulas, racks especiales	Tambor de 200 litros de aceite

La elección de la unidad de carga afecta el ancho de los pasillos (para maniobras de montacargas), la altura de las estanterías, los equipos de manipulación necesarios y la productividad del picking.

3. Perfiles de demanda: análisis cuantitativo para el diseño

3.1 Definición de perfil de demanda

El perfil de demanda de un SKU o de un grupo de SKU describe el comportamiento de los pedidos a lo largo del tiempo en términos de:

- **Frecuencia de pedido:** Número de veces que se solicita el producto en un período (día, semana, mes).
- **Volumen por pedido:** Cantidad de unidades solicitadas en cada transacción.
- **Variabilidad:** Grado de dispersión de la demanda respecto a su valor promedio (medido por coeficiente de variación, desviación estándar, rango).
- **Tendencia:** Comportamiento creciente, decreciente o estacionario de la demanda en el tiempo.

3.2 Tipos de perfiles de demanda

Tipo de perfil	Características	Ejemplo de SKU	Implicaciones para el diseño
Demanda constante	Volumen diario o semanal muy estable, baja variabilidad	Leche pasteurizada (consumo diario estable)	Se puede diseñar con espacios fijos y rutinas predecibles. El almacenamiento puede ser en ubicaciones dedicadas.

Tipo de perfil	Características	Ejemplo de SKU	Implicaciones para el diseño
Demanda intermitente	Largos periodos sin demanda seguidos de pedidos concentrados	Repuestos de maquinaria industrial, extintores	Requiere sistemas de almacenamiento que no desperdicien espacio durante los periodos de baja demanda. El cross-docking puede ser inadecuado.
Demanda con tendencia	Crecimiento o decrecimiento sostenido en el tiempo	Productos en fase de lanzamiento o declive	El diseño debe contemplar expansión modular o reconversión de espacios. No se deben fijar ubicaciones permanentes.
Demanda estacional	Picos pronunciados en épocas específicas del año	Juguetes (Navidad), protector solar (verano), útiles escolares (agosto)	El diseño debe prever espacios flexibles (áreas de almacenamiento temporal, contratación de almacenes externos en temporada alta, uso de sistemas de almacenamiento móviles).

3.3 Métricas clave para caracterizar perfiles de demanda

Para el diseño de almacenes, las siguientes métricas son especialmente relevantes:

Métrica	Fórmula	Interpretación
Demanda promedio diaria (D)	$\Sigma(\text{demandas diarias}) / n \text{ días}$	Base para dimensionar el flujo diario de entrada/salida
Coefficiente de variación (CV)	σ / μ (desviación estándar / media)	$CV > 1$ indica alta variabilidad; $CV < 0.3$ indica baja variabilidad
Pico máximo / promedio	Demanda máxima / demanda promedio	Si $es > 2$, indica fuertes estacionalidades o eventos puntuales
Número de pedidos por día	Total de pedidos / días hábiles	Define la necesidad de zonas de consolidación y picking
Unidades por pedido (promedio)	Unidades totales / número de pedidos	Bajo (1-2 unidades) indica operación B2C; alto (pallet o más) indica B2B

3.4 Relación entre perfil de demanda y estrategia de almacenamiento

Perfil de demanda	Estrategia de almacenamiento recomendada
Demanda constante + alta rotación	Ubicaciones fijas cerca de la zona de picking. Estanterías selectivas o sistemas <i>flow rack</i> (gravedad).
Demanda constante + baja rotación	Ubicaciones en niveles altos o zonas alejadas. Sistemas de almacenamiento compacto (<i>push-back</i> , <i>drive-in</i>).
Demanda muy variable (CV alto)	Ubicaciones aleatorias gestionadas por WMS para maximizar uso del espacio. Evitar ubicaciones fijas.
Demanda estacional con picos agudos	Áreas reservadas para almacenamiento temporal (ej. mezzanines desmontables, racks móviles). Planificación de personal temporal.

4. Estacionalidad: impacto en el diseño y estrategias de mitigación

4.1 Definición y tipos de estacionalidad

La estacionalidad se refiere a patrones regulares y predecibles de aumento o disminución de la demanda asociados a factores calendarizados. Los principales tipos de estacionalidad que afectan el diseño de centros de distribución son:

Tipo de estacionalidad	Factor causal	Ejemplos de productos afectados	Época típica de pico
Estacionalidad climática	Cambios de estación	Ropa de invierno/verano, aire acondicionado, calefactores, hielo	Primavera-verano o invierno según región
Estacionalidad comercial	Fechas de venta especiales	Juguetes (Navidad), electrónicos (Black Friday), flores (Día de la Madre), útiles escolares (regreso a clases)	Noviembre-diciembre (Navidad), agosto (vuelta a clases)
Estacionalidad agrícola	Cosechas	Frutas, verduras, granos, flores cortadas	Varía por cultivo (ej. mango: abril-junio)

Tipo de estacionalidad	Factor causal	Ejemplos de productos afectados	Época típica de pico
Estacionalidad turística	Vacaciones y periodos vacacionales	Artículos de playa, souvenirs, equipaje, cámaras	Diciembre-enero, julio-agosto, Semana Santa
Estacionalidad institucional	Ciclos presupuestarios o fiscales	Suministros de oficina, material educativo, puestos de gobierno	Enero (nuevo año fiscal), septiembre (cierre fiscal)

4.2 Impacto de la estacionalidad en el diseño del almacén

La estacionalidad afecta al menos cuatro dimensiones del diseño:

4.2.1 Dimensionamiento de la capacidad de almacenamiento

Un diseño basado en la demanda promedio dejaría al almacén colapsado durante la temporada alta. Por ello, se debe definir la capacidad de almacenamiento de pico considerando:

- Factor de estacionalidad (FE) = Demanda máxima mensual / Demanda promedio mensual
- Capacidad de diseño = Demanda promedio $\times$ FE $\times$ (1 + margen de seguridad)

Por ejemplo, si un almacén maneja 10 000 pallets en promedio mensual y en diciembre la demanda es de 25 000 pallets (FE = 2.5), la capacidad de diseño debería ser al menos de 25 000 pallets, más un margen de seguridad del 10-20 % (27 500-30 000 pallets). Si el costo de tener capacidad ociosa 11 meses al año es muy alto, se exploran otras estrategias.

4.2.2 Diseño de los flujos de recepción y expedición

En temporada alta, los volúmenes de entrada y salida pueden duplicarse o triplicarse. Esto afecta:

- **Número de muelles de carga/descarga:** Se necesitan más puertas o turnos extendidos.

- **Áreas de maniobra:** Se requieren mayores espacios para el estacionamiento temporal de camiones.
- **Áreas de consolidación:** El espacio para ordenar y agrupar pedidos antes de la expedición debe ampliarse.

4.2.3 Necesidades de personal y equipos

La estacionalidad genera picos de mano de obra temporal y mayor uso de equipos de manejo. En el diseño de infraestructura, esto implica:

- **Diseño de estaciones de trabajo modulares:** Que puedan ser rápidamente replicadas en temporada alta.
- **Circuitos de carga de baterías:** Más equipos (montacargas, transpaletas) requieren más puntos de recarga.
- **Vestidores y servicios sanitarios:** Dimensionados para la máxima ocupación esperada.

4.2.4 Estrategia de almacenamiento temporal

Para evitar sobredimensionar la infraestructura permanente, se utilizan estrategias de almacenamiento temporal:

Estrategia	Descripción	Cuando aplica
Almacenamiento en pasillos	Utilizar pasillos principales como áreas de almacenamiento temporal durante picos (con planificación de rutas alternas)	Picos cortos (1-2 semanas)
Racks móviles o desmontables	Sistemas de almacenamiento que se instalan solo en temporada alta	Picos predecibles (Navidad, verano)
Almacenes externos satélite	Rentar espacio de almacenamiento cercano solo para los meses de mayor demanda	Cuando la diferencia entre pico y promedio es muy grande ($> 3x$)
Cross-docking extendido	Reducir el almacenamiento al mínimo, despachando directamente desde recepción	Para productos que pueden ser programados con proveedores
Unidades por pedido (promedio)	Unidades totales / número de pedidos	Bajo (1-2 unidades) indica operación B2C; alto (pallet o más) indica B2B

4.3 Metodología para incorporar la estacionalidad en el diseño

Un enfoque sistemático para integrar la estacionalidad en el diseño de un centro de distribución consta de los siguientes pasos:

1. **Identificar los SKU con estacionalidad significativa:** No todos los productos son estacionales. Se deben clasificar los SKU por su patrón de demanda a lo largo de al menos 24 meses.
2. **Cuantificar el factor de estacionalidad por SKU y agregado:** Calcular FE para cada SKU estacional y para el conjunto del almacén. El FE agregado determina la capacidad total requerida.
3. **Definir la estrategia de capacidad:** Decidir si se dimensiona para el pico (mayor inversión, menor riesgo) o para el promedio con estrategias de mitigación (menor inversión, mayor complejidad operativa). Esta decisión depende del costo de oportunidad de la capacidad ociosa versus el costo de las soluciones temporales.
4. **Diseñar zonas de almacenamiento flexible:** Reservar un porcentaje del área (típicamente 15-25 %) para usos variables: almacenamiento temporal, áreas de picking ampliadas, consolidación estacional. Estas zonas deben tener servicios básicos (iluminación, acceso para montacargas), pero pueden permanecer vacías fuera de temporada.
5. **Planificar la transición entre temporadas:** Diseñar procedimientos para la “limpieza” de productos de temporada saliente (devoluciones a proveedores, liquidación, donación) y la recepción de la nueva temporada entrante.

5. Integración del análisis de SKU, perfiles de demanda y estacionalidad

Los tres análisis descritos no operan de manera independiente. Por el contrario, el diseño óptimo de un centro de distribución surge de su integración. La siguiente tabla resume cómo se combinan estos elementos:

Dimensión de diseño	Información del análisis de SKU	Información del perfil de demanda	Información de la estacionalidad
Zonificación	Clasificación ABC, compatibilidad, unidad de carga	Volumen por pedido (B2B vs B2C)	SKU estacionales en zonas flexibles
Tecnología de almacenamiento	Dimensiones físicas, peso, fragilidad	Rotación (alta/baja)	Sistemas modulares para picos
Número y tipo de equipos de manejo	Peso unitario, unidad de carga	Volumen diario promedio y máximo	Incremento temporal (renta de equipos)
Dimensionamiento de áreas	Volumen total de SKU, altura de almacenamiento	Flujo de entrada/salida diario	Factor de estacionalidad (FE)
Estrategia de picking	Variedad de SKU, tamaño de la unidad	Unidades por pedido, frecuencia	Picos pueden requerir picking por lote o por onda

5.1 Ejemplo integrado

Una empresa de distribución de productos de limpieza para hoteles y restaurantes (B2B) desea diseñar un nuevo centro de distribución. Los datos preliminares son:

Tipo de producto	Número de SKU	Rotación anual (unidades)	Estacionalidad
Jabón líquido (presentación 5L)	15	500 000	Moderada (pico en verano +20 %)
Cloro (presentación 1L)	8	300 000	Baja (demanda constante)
Desinfectante concentrado (presentación 20L)	20	80 000	Alta (pico en invierno +80 % por gripes)
Accesorios (escobas, trapeadores)	120	40 000	Baja (constante)

Aplicación de la metodología:

1. **Clasificación ABC por movimiento:** Jabón líquido y cloro son clase A (80 % del movimiento). Desinfectante clase B (15 %). Accesorios clase C (5 %).
2. **Análisis de perfiles de demanda:** Los productos clase A tienen demanda diaria constante y alta frecuencia de pedido (a diario). Los accesorios tienen demanda intermitente (pedidos semanales).
3. **Estacionalidad:** El desinfectante (clase B, pero con alta estacionalidad) requiere una estrategia especial: en invierno, su demanda se multiplica por 1.8, por lo que se necesita capacidad flexible.

Decisiones de diseño resultantes:

- Los SKU clase A (jabón y cloro) se ubicarán en estanterías selectivas de fácil acceso cerca de la zona de picking, con ubicaciones fijas.
- Los accesorios (clase C) se ubicarán en sistemas *push-back* en la parte trasera del almacén, con picking periódico.
- El desinfectante concentrado (estacional) se ubicará en una zona modular que, durante el invierno, se ampliará ocupando parte de un área de maniobras. Fuera de temporada, esa zona se usará para consolidación de pedidos.
- El factor de estacionalidad agregado (considerando el peso de cada SKU) es de 1.35, por lo que la capacidad de almacenamiento se dimensionará para 135 % de la demanda promedio, complementando con almacenamiento temporal en pasillos durante el pico invernal.

6. Herramientas y softwares para el análisis de SKU, demanda y estacionalidad

En la práctica profesional, el análisis descrito se apoya en diversas herramientas tecnológicas:

Herramienta	Función principal	Ejemplos
Sistemas ERP	Almacenan datos históricos de ventas y movimientos de inventario	SAP, Oracle, Microsoft Dynamics
Software de análisis de datos	Realizan clasificaciones ABC, cálculos de variabilidad, pronósticos	Python (pandas, numpy), R, Excel avanzado, Tableau

Herramienta	Función principal	Ejemplos
Software de simulación de almacenes	Permiten probar diferentes configuraciones de diseño antes de construir	FlexSim, AnyLogic, Arena Simulation
Sistemas WMS	Proporcionan datos reales de rotación por SKU y por ubicación	Manhattan SCALE, JDA Warehouse Manager, Infor WMS
Herramientas de planificación de capacidad	Ayudan a dimensionar espacios según perfiles de demanda	Llamasoft Supply Chain Guru, CAST Software

7. Resumen del tema

- El diseño de un centro de distribución debe comenzar con un análisis sistemático de los SKU, sus características físicas, su rotación (clasificación ABC) y sus requerimientos de compatibilidad y segregación.
- La clasificación ABC (Pareto) permite asignar los productos de mayor movimiento a las zonas de mejor acceso y a las tecnologías de almacenamiento más rápidas, mientras que los productos de baja rotación se ubican en zonas menos accesibles o en sistemas compactos.
- Los perfiles de demanda (constante, intermitente, con tendencia, estacional) determinan la estrategia de almacenamiento y la necesidad de flexibilidad. La variabilidad de la demanda afecta el diseño de áreas de picking y consolidación.
- La estacionalidad introduce picos predecibles que pueden saturar la capacidad si el diseño se basa únicamente en promedios. Se deben cuantificar factores de estacionalidad y diseñar estrategias de capacidad (almacenamiento temporal, zonas flexibles, almacenes satélites) para equilibrar inversión y riesgo.
- La integración de los tres análisis permite tomar decisiones coherentes sobre zonificación, tecnología de almacenamiento, equipos de manejo, dimensionamiento de áreas y estrategias de picking.
- En la práctica profesional, estos análisis se apoyan en sistemas ERP, software estadístico y herramientas de simulación que permiten modelar el comportamiento de la demanda antes de construir o modificar la infraestructura.

Preguntas de reflexión para el estudiante

1. ¿Por qué la clasificación ABC es una herramienta fundamental antes de diseñar cualquier almacén? ¿Qué riesgos se correrían si se ignorara?

2. Un centro de distribución maneja 5000 SKU. El 15 % de ellos genera el 65 % del movimiento (clase A), el 25 % genera el 25 % (clase B) y el 60 % genera el 10 % (clase C). ¿Qué porcentaje del espacio físico asignaría a cada clase y por qué?

3. ¿Cómo afecta un coeficiente de variación (CV) de 2.5 en la demanda diaria de un SKU a la decisión de asignarle una ubicación fija o una ubicación aleatoria gestionada por WMS?

4. Una empresa de juguetes tiene un factor de estacionalidad de 4.0 (demanda en noviembre-diciembre es 4 veces la demanda promedio mensual). Proponga al menos tres estrategias de diseño de infraestructura para manejar este pico sin duplicar la capacidad permanente del almacén.

5. ¿Qué tipo de SKU recomendaría almacenar en sistemas de almacenamiento compacto (*push-back*, *drive-in*) y cuáles en estanterías selectivas de fácil acceso? Fundamente su respuesta en los conceptos de rotación y perfil de demanda.

6. ¿Cómo influye la unidad de carga elegida (pieza suelta, caja, pallet) en el ancho de los pasillos, la altura de las estanterías y la productividad del picking?

Capítulo 6

Distribución en planta (layout): Tipos de flujo (U, I, L, T), dimensionamiento de áreas (recepción, almacenamiento, picking, expedición)

1. Introducción a la distribución en planta

La distribución en planta (o layout) de un centro de distribución es la disposición física de las áreas de trabajo, los equipos de almacenamiento, los pasillos, los muelles de carga y descarga, y las zonas administrativas dentro del espacio disponible. El objetivo fundamental del diseño del layout es organizar los flujos de materiales de manera que se minimicen las distancias recorridas, se eviten cruces y retrocesos, se maximice el uso del espacio volumétrico y se garantice la seguridad y ergonomía del personal.

Un layout bien diseñado puede incrementar la productividad hasta en un 30 % respecto a una disposición subóptima, reducir los tiempos de ciclo de los pedidos, disminuir el riesgo de accidentes y facilitar la implementación de tecnologías de automatización. Por el contrario, un layout deficiente genera recorridos innecesarios, congestionamiento, errores en la preparación de pedidos y dificultades para escalar la operación.

El diseño del layout no es un ejercicio independiente; debe basarse en los análisis de SKU, perfiles de demanda y estacionalidad descritos en el tema anterior. Una vez conocidas las características de los productos y los patrones de flujo, se procede a definir la forma general del flujo (tipología U, I, L o T) y a dimensionar cada una de las áreas funcionales.

Este tema desarrolla, en primer lugar, los tipos de flujo más utilizados en centros de distribución, analizando sus ventajas, desventajas y aplicaciones típicas. En segundo lugar, se presentan las metodologías para el dimensionamiento de las principales áreas: recepción, almacenamiento, picking (preparación de pedidos) y expedición. Finalmente, se integran ambos aspectos en un ejemplo práctico de diseño.

2. Tipos de flujo en centros de distribución

El flujo de materiales dentro de un centro de distribución sigue, en términos generales, una secuencia lógica: recepción → almacenamiento → picking → empaque/consolidación → expedición. La disposición relativa

de estas áreas define la tipología del layout. Los cuatro tipos más comunes son el flujo en U, en I (o lineal), en L y en T.

2.1 Flujo en U (forma de U)

2.1.1 Descripción y disposición

En el layout en U, las áreas de recepción y expedición se ubican en el mismo lado del edificio, generalmente adyacentes entre sí. El flujo de materiales entra por un extremo de la “U”, recorre el almacenamiento y las zonas de picking, y sale por el otro extremo, que está cerca del punto de entrada. La forma de U permite que los muelles de recepción y expedición compartan infraestructura (ej. el mismo patio de maniobras, los mismos equipos de carga).

2.1.2 Ventajas

- **Uso eficiente del espacio:** Los muelles compartidos reducen la huella de construcción.
- **Flexibilidad:** Permite que un mismo operador o equipo pueda apoyar tanto en recepción como en expedición según la demanda.
- **Flujo continuo:** El producto entra y sale sin cruzar flujos (si se diseña con pasillos direccionales).
- **Seguridad:** Al tener un solo lado del edificio con actividad de muelles, se facilita el control de accesos.

2.1.3 Desventajas

- **Riesgo de confusión:** Si no está bien señalizado, los productos recién recibidos podrían confundirse con los que están por salir.
- **Limitación para expansión:** Es difícil ampliar los muelles sin afectar la operación existente.
- **Mayor distancia recorrida para algunos SKU:** Los productos que deben ir a zonas profundas del almacén recorren más distancia que en un layout I.

2.1.4 Aplicaciones típicas

- Centros de distribución de tamaño mediano (5000 - 15 000 m²).
- Operaciones donde recepción y expedición comparten horarios o personal.
- Instalaciones con limitaciones de terreno (forma cuadrada o ligeramente rectangular).

2.2 Flujo en I (lineal o recto)

2.2.1 Descripción y disposición

En el layout en I, las áreas de recepción y expedición se ubican en extremos opuestos del edificio. El flujo de materiales que entran, por un lado, atraviesa todo el almacén en línea recta (o con ligeras variaciones) y sale por el lado opuesto. Es el diseño más simple y fácil de comprender.

2.2.2 Ventajas

- **Simplicidad:** El flujo es unidireccional, fácil de entender para los operadores.
- **Mínimo riesgo de cruces:** Al ser lineal, los productos nuevos no se cruzan con los que salen.
- **Escalabilidad:** Es fácil ampliar el edificio en longitud (agregar módulos al final) sin rediseñar el flujo.
- **Adecuado para automatización:** Los transportadores lineales y sistemas de clasificación se integran fácilmente.

2.2.3 Desventajas

- **Mayor superficie de construcción:** Al requerir dos frentes de muelles (uno a cada lado), el edificio necesita más perímetro.
- **Mayor distancia recorrida:** Los productos deben atravesar toda la longitud del almacén, incluso si son de alta rotación.
- **Menor flexibilidad:** Es difícil cambiar la ubicación de las áreas funcionales sin rediseñar completamente.

2.2.4 Aplicaciones típicas

- Centros de distribución de gran tamaño (más de 20 000 m²) con terrenos alargados.
- Operaciones con flujos muy predecibles y baja variabilidad estacional.
- Almacenes automatizados con transportadores lineales (ej. clasificadores de paquetería).

2.3 Flujo en L

2.3.1 Descripción y disposición

En el layout en L, las áreas de recepción y expedición se ubican en dos lados adyacentes del edificio (formando una esquina de 90°). El flujo de materiales entra por un lado, gira 90 grados en algún punto del almacén y sale por el lado contiguo.

2.3.2 Ventajas

- **Aprovechamiento de terrenos en esquina:** Ideal para parcelas con forma de L o con accesos en dos calles diferentes.
- **Separación natural de flujos:** Los camiones de entrada y salida usan accesos distintos, reduciendo el congestionamiento.
- **Flexibilidad en la zonificación:** Permite ubicar áreas de alto movimiento en el vértice de la L (cerca de ambos muelles).
- **Posibilidad de expansión:** Se puede crecer en ambas direcciones (a lo largo de cada brazo de la L).

2.3.3 Desventajas

- **Espacio muerto en el vértice interior:** El ángulo interior de la L puede ser difícil de aprovechar para almacenamiento estándar.
- **Mayor complejidad de flujo:** Los operadores deben gestionar un cambio de dirección, que puede generar cuellos de botella si no está bien diseñado.
- **Mayor necesidad de señalización:** Para evitar que los productos se desvíen hacia el área equivocada.

2.3.4 Aplicaciones típicas

- Centros de distribución en terrenos con forma irregular o con accesos restringidos.
- Operaciones donde los proveedores llegan por una vía y los clientes por otra (ej. centros de distribución urbanos).
- Instalaciones que requieren áreas de valor agregado en el vértice de la L (cerca de ambos flujos).

2.4 Flujo en T

2.4.1 Descripción y disposición

En el layout en T, la recepción se ubica en la base de la T y la expedición se divide en dos brazos (o viceversa). También puede interpretarse como un flujo que entra por un punto y se bifurca hacia dos áreas de salida distintas, o que recibe desde dos puntos de entrada y sale por uno solo.

2.4.2 Ventajas

- **Atención a múltiples canales:** Permite separar la expedición por tipo de cliente (ej. tiendas físicas por un brazo, e-commerce por el otro).
- **Mayor capacidad de expedición:** Con dos brazos de salida, se pueden despachar más pedidos simultáneamente.
- **Segmentación de flujos:** Los productos con diferentes destinos o prioridades pueden separarse físicamente desde el inicio.

2.4.3 Desventajas

- **Alta complejidad de gestión:** Se requiere un sistema de clasificación (automático o manual) para dirigir cada producto al brazo correcto.
- **Mayor necesidad de espacio:** Los dos brazos de salida duplican el frente de muelles.
- **Riesgo de desbalance:** Si un brazo recibe mucho más volumen que el otro, se generan ineficiencias.

2.4.4 Aplicaciones típicas

- Centros de distribución omnicanal (atienden simultáneamente tiendas físicas y pedidos en línea).
- Operadores logísticos (3PL) que sirven a múltiples clientes con diferentes requerimientos.
- Centros de distribución de gran volumen con separación por zonas geográficas (ej. norte y sur).

2.5 Tabla comparativa de tipos de flujo

Criterio	Flujo U	Flujo I	Flujo L	Flujo T
Forma del terreno ideal	Cuadrada o rectangular ancha	Rectangular alargada	Esquina o L	Rectangular ancha o con dos frentes
Separación recepción/expedición	Mismo lado	Lados opuestos	Lados adyacentes	Un punto de entrada, dos de salida
Riesgo de cruce de flujos	Bajo (si hay pasillos direccionales)	Muy bajo	Bajo	Medio (requiere clasificación)
Facilidad de expansión	Media	Alta	Alta	Media
Adecuación para automatización	Media	Alta	Media	Alta (con clasificadores)
Tamaño típico del CEDIS	Mediano (5 k-15 k m ²)	Grande (>20 k m ²)	Variable	Grande (>15 k m ²)
Complejidad operativa	Baja-media	Baja	Media	Alta

2.6 Criterios para la selección del tipo de flujo

La elección del tipo de flujo no es arbitraria, debe basarse en los siguientes criterios:

Geometría del terreno disponible: Si el terreno es alargado, conviene flujo I; si es cuadrado o con accesos en un solo lado, flujo U; si tiene

forma de L o accesos en esquina, flujo L; si se necesita separar flujos de salida, flujo T.

Volumen y diversidad de productos: Alta diversidad y baja rotación favorecen flujo U (más flexible). Alta rotación y flujo predecible favorecen flujo I.

Nivel de automatización: Flujo I es el más fácil de automatizar con transportadores lineales. Flujo T requiere clasificadores automáticos en la bifurcación.

Necesidad de expansión futura: Si se espera crecer, el flujo I o L permiten agregar módulos al final sin rediseñar.

Separación de canales de venta: Si se atienden canales muy diferentes (B2B mayorista y B2C e-commerce), el flujo T permite separarlos físicamente.

3. Dimensionamiento de áreas funcionales

Una vez definida la tipología general del flujo, el siguiente paso es dimensionar cada una de las áreas funcionales del centro de distribución. El dimensionamiento consiste en calcular la superficie (en metros cuadrados) y, en algunos casos, el volumen (metros cúbicos) necesario para cada área, de modo que la operación pueda desarrollarse sin restricciones de espacio en condiciones normales y de pico de demanda.

Las áreas principales a dimensionar son: recepción, almacenamiento, picking (preparación de pedidos) y expedición. A estas se suman áreas auxiliares (oficinas, vestidores, mantenimiento, zona de devoluciones, etc.) que, aunque importantes, no se abordan en profundidad en este tema.

3.1 Dimensionamiento del área de recepción

3.1.1 Funciones del área de recepción

El área de recepción es donde se realizan las siguientes actividades:

- Descarga de los camiones o contenedores.
- Verificación de cantidades contra la documentación (orden de compra, manifiesto de carga).
- Inspección de calidad (daños, caducidades, condiciones).
- Registro en el sistema WMS (recepción digital).

- Preparación para el almacenamiento (etiquetado, reembalaje, asignación de ubicación).
- Traslado temporal al área de almacenamiento (put-away).

3.1.2 Método de dimensionamiento

El área de recepción se compone típicamente de:

- **Andenes o muelles de descarga:** Espacio donde se posiciona el camión para la descarga.
- **Área de maniobra interna:** Espacio para mover los productos desde el muelle hacia el interior.
- **Área de recepción temporal:** Espacio donde los productos esperan a ser inspeccionados y registrados antes de ser llevados al almacenamiento.

Fórmula simplificada para el área de recepción:

$$A_{\text{recepción}} = (N_{\text{muelles}} \times A_{\text{muelle}} + A_{\text{maniobra}} + A_{\text{temporal}})$$

Donde:

- N_{muelles} = Número de puertas de recepción necesarias.
- A_{muelle} = Área por muelle (típicamente 30-50 m² incluyendo la plataforma y el acceso interior).
- A_{maniobra} = Área para maniobra de montacargas (típicamente 100-200 m², dependiendo del equipo).
- A_{temporal} = Área para almacenamiento temporal de productos recibidos (depende del volumen diario y del tiempo de permanencia).

Cálculo del número de muelles de recepción:

$$N_{\text{muelles}} = \frac{V_{\text{diario}} * T_{\text{ocupación}}}{H_{\text{operación}} * C_{\text{camión}}}$$

Donde:

- V_{diario} = Volumen diario de entrada (en pallets, cajas o la unidad de carga definida).

- $T_{ocupación}$ = Tiempo promedio que un camión ocupa un muelle (ej. 1.5 horas para descarga).
- $H_{operación}$ = Horas de operación de la recepción al día (ej. 8 horas).
- $C_{camión}$ = Capacidad promedio de un camión (ej. 30 pallets).

3.1.3 Consideraciones adicionales

Estacionalidad: En temporada alta, el volumen diario puede duplicarse o triplicarse, por lo que se debe dimensionar para el pico o prever horarios extendidos.

Tipo de producto: Productos que requieren inspección minuciosa (ej. farmacéuticos) necesitan más área de recepción temporal.

Cross-docking: Si se opera cross-docking, el área de recepción debe estar muy cerca del área de expedición, y el área temporal puede ser mínima.

3.2 Dimensionamiento del área de almacenamiento

3.2.1 Funciones del área de almacenamiento

El área de almacenamiento es donde los productos se guardan de manera ordenada hasta que son solicitados para su preparación y envío. Incluye:

Estanterías o racks: Estructuras que sostienen los productos en diferentes alturas.

Pasillos: Espacios para la circulación de equipos de manejo (montacargas, transpaletas, AGV).

Áreas de ubicación: Espacios asignados a cada SKU (fijos o aleatorios).

3.2.2 Método de dimensionamiento

El área de almacenamiento depende de:

- Volumen total de productos a almacenar (en unidades de carga).
- Tipo de sistema de almacenamiento (selectivo, compacto, automatizado).
- Altura utilizable del edificio.
- Porcentaje de ocupación objetivo (no se llena al 100 % para permitir operación fluida).

3.2.3 Consideraciones por tipo de sistema de almacenamiento

Sistema de almacenamiento	Densidad de almacenamiento	Accesibilidad	Área requerida para el mismo volumen
Estanterías selectivas	Baja (pasillos anchos)	Alta	Mayor (referencia)
Racks de doble profundidad	Media	Media	70-80 % del área selectiva
Push-back / Drive-in	Alta	Baja	50-60 % del área selectiva
AS/RS (automatizado)	Muy alta	Media-alta	40-50 % del área selectiva

3.2.4 Distribución del área de almacenamiento por clases ABC

Una práctica común es asignar diferentes zonas del almacenamiento según la clasificación ABC:

- **Zona A (alta rotación):** Cerca de las áreas de picking y expedición. Utilizar estanterías selectivas de fácil acceso. Ocupa 15-20 % del área de almacenamiento pero maneja 70-80 % de los movimientos.
- **Zona B (rotación media):** En ubicaciones intermedias. Estanterías selectivas o doble profundidad. Ocupa 20-30 % del área.
- **Zona C (baja rotación):** En zonas alejadas o en alturas superiores/inferiores. Sistemas compactos (push-back, drive-in). Ocupa 50-65 % del área, pero maneja solo 5-10 % de los movimientos.

3.3 Dimensionamiento del área de picking (preparación de pedidos)

3.3.1 Funciones del área de picking

El área de picking es donde los operadores toman los productos desde las ubicaciones de almacenamiento para conformar los pedidos de los clientes. Puede estar integrada dentro del área de almacenamiento (picking desde estanterías) o ser una zona separada (picking desde áreas de reserva o sistemas goods-to-person).

3.3.2 Método de dimensionamiento

El área de picking se dimensiona considerando:

- Número de líneas de pedido a preparar por hora o por día.
- Productividad del operador (líneas por hora).
- Longitud de recorrido necesario.
- Ancho de pasillos y densidad de estaciones de picking.

Método simplificado para picking en estanterías selectivas:

Alternativa: picking por zonas (zoning):

En centros de distribución grandes, el área de picking se divide en zonas (ej. zona de productos pesados, zona de productos pequeños, zona de productos congelados). Cada zona tiene su propio dimensionamiento según las características de los SKU que alberga.

3.3.3 Consideraciones para sistemas avanzados de picking

Sistema	Área requerida relativa	Productividad relativa	Observaciones
Picking manual (caminando)	Base (1.0x)	Base (1.0x)	Requiere pasillos anchos para dos operadores
Picking por voz (voice picking)	0.9x	1.2x - 1.5x	Misma área que manual pero más productivo
Picking con transportador (pick-to-belt)	0.8x	1.5x - 2.0x	Requiere espacio para transportadores
Goods-to-person (AMR/ASRS)	0.5x - 0.7x	2.0x - 4.0x	Las estaciones de picking ocupan poco espacio; el almacenamiento está en sistemas densos
Picking automatizado (robots)	0.4x - 0.6x	3.0x - 6.0x	Los robots ocupan pasillos estrechos; las estaciones de empaque son el cuello de botella

3.4 Dimensionamiento del área de expedición

3.4.1 Funciones del área de expedición

El área de expedición es donde se realizan las últimas actividades antes de que los productos salgan del centro de distribución:

Consolidación de pedidos: Agrupar todos los productos de un mismo pedido que fueron preparados en diferentes zonas.

Verificación final: Pesar, escanear y validar que el pedido esté completo.

Embalaje y etiquetado: Colocar en cajas, sobres o pallets, y pegar etiquetas de envío.

Clasificación por ruta o transportista: Agrupar pedidos que irán en el mismo camión.

Carga en camiones: Trasladar los pedidos al vehículo de transporte.

3.4.2 Método de dimensionamiento

El área de expedición tiene componentes similares a la recepción, pero con énfasis en la consolidación y clasificación.

Fórmula:

$$A_{recepción} = (N_{muelles} \times A_{muelle} + A_{maniobra} + A_{temporal})$$

Cálculo del número de muelles de expedición:

Similar al de recepción, pero considerando el volumen de salida y el tiempo de carga.

$$N_{muelles} = \frac{V_{diario} * T_{ocupación}}{H_{operación} * C_{camión}}$$

Área de consolidación:

Depende del tiempo que los pedidos completos esperan antes de ser cargados. Una regla práctica es dimensionar para almacenar de 2 a 4 horas de producción de pedidos.

Área de clasificación por rutas:

Si se utilizan clasificadores automáticos (sorters), se requiere espacio para los carriles de salida. Un clasificador de zapatillas (*shoe sorter*) típico ocupa un área de 200-500 m² dependiendo del número de destinos.

3.4.3 Consideraciones adicionales

- **Separación por tipo de envío:** Si se envían pallets completos (B2B) y paquetes pequeños (B2C), pueden requerirse áreas de expedición separadas.
- **Muelles niveladores:** Los muelles deben tener niveladores para ajustarse a diferentes alturas de camiones.
- **Área de maniobra externa:** Además del área interna, se necesita espacio para que los camiones maniobren y esperen su turno (típicamente 1.5-2 veces el área del muelle).

4. Resumen del tema

- La distribución en planta (layout) es la disposición física de las áreas funcionales de un centro de distribución y tiene un impacto directo en la productividad, los costos y la seguridad.
- Los tipos de flujo más comunes son U, I, L y T. La elección depende de la geometría del terreno, el volumen de operación, el nivel de automatización y la necesidad de separar canales de venta.
- El dimensionamiento de áreas requiere cálculos basados en volúmenes de entrada/salida, tiempos de proceso, características de los SKU y niveles de inventario.
- El área de recepción se dimensiona según el número de muelles (función del volumen diario, capacidad de camiones y tiempo de descarga) y las áreas de maniobra y almacenamiento temporal.
- El área de almacenamiento depende del volumen total a almacenar, la altura útil del edificio, el factor de utilización y el tipo de sistema de almacenamiento (selectivo, compacto, automatizado).
- El área de picking se dimensiona según el número de SKU preparados en esta zona, la longitud de frentes de estanterías y el ancho de pasillos.

Sistemas avanzados (goods-to-person, automatizados) reducen el área requerida, pero aumentan la inversión.

- El área de expedición incluye muelles de carga, consolidación de pedidos y clasificación por rutas, con dimensionamiento similar al de recepción, pero considerando el tiempo de espera antes del despacho.
- La integración de todos los cálculos debe verificar que la suma de áreas no supere el espacio disponible y que exista un balance razonable entre áreas productivas, pasillos y espacios libres para expansión.

Preguntas de reflexión para el estudiante

1. ¿En qué tipo de operación (productos, volumen, estacionalidad) recomendaría un flujo en I en lugar de un flujo en U? ¿Por qué?

2. Si un centro de distribución tiene una demanda altamente estacional (factor 3.0), ¿cómo afecta esto al dimensionamiento de los muelles de recepción? ¿Qué estrategias alternativas existen para no sobredimensionar la infraestructura permanente?

3. Explique por qué el área de picking puede llegar a ser mayor que el área de almacenamiento puro, a pesar de que el picking solo maneja una parte de los SKU.

4. En un layout en 'T', ¿qué desafíos adicionales de dimensionamiento presenta la bifurcación del flujo? ¿Cómo se resuelven?

5. Calcule el número de muelles de recepción necesarios para un centro de distribución que recibe 600 pallets diarios (promedio), con camiones de 33 pallets, tiempo de descarga de 1.8 horas y operación de recepción de 10 horas. ¿Qué pasaría si la estacionalidad eleva el volumen a 900 pallets durante 4 semanas al año?

6. Proponga un layout (tipo de flujo y dimensiones aproximadas de áreas) para un centro de distribución de e-commerce que maneja 50 000 pedidos por día, cada pedido promedio de 1.5 kg, con 20 000 SKU y entregas en 24 horas en zona urbana. Justifique su propuesta.

Capítulo 7

**Sistemas de almacenamiento:
Estanterías convencionales, racks de
doble profundidad, cantilever, sistemas
compactos (push-back, drive-in), sistemas
automatizados (AS/RS, miniload)**

1. Introducción a los sistemas de almacenamiento

La selección del sistema de almacenamiento adecuado es una de las decisiones más relevantes en el diseño de un centro de distribución. El sistema de almacenamiento determina no solo la capacidad de guardar productos en un espacio dado, sino también la velocidad de acceso a los mismos, la inversión requerida, los costos operativos, la ergonomía del personal y la posibilidad de automatizar procesos posteriores como el picking.

No existe un sistema de almacenamiento universalmente óptimo. Cada tipo de sistema presenta un equilibrio particular entre densidad de almacenamiento (cuántos productos caben por metro cuadrado), accesibilidad (qué tan rápido se puede recuperar un producto específico), costo de inversión (tanto en equipos como en infraestructura civil) y flexibilidad (capacidad de adaptarse a cambios en el portafolio de SKU o en los volúmenes de demanda).

Este tema presenta una clasificación sistemática de los principales sistemas de almacenamiento utilizados en centros de distribución modernos, desde los más convencionales y manuales hasta los más automatizados y de alta densidad. Para cada sistema, se describen sus características técnicas, ventajas, desventajas, aplicaciones típicas y criterios de selección. La exposición sigue un orden de creciente densidad y decreciente accesibilidad, mostrando las compensaciones (*trade-offs*) inherentes a cada tecnología.

2. Estanterías convencionales (selectivas)

2.1 Descripción y características

Las estanterías convencionales selectivas (también llamadas racks selectivos de entrada simple o adjustable pallet racks) son el sistema de almacenamiento más utilizado en centros de distribución de todo el mundo. Consisten en estructuras metálicas modulares formadas por marcos verticales y vigas horizontales que sostienen los productos, generalmente pallets. El

acceso a cada pallet es directo e independiente, sin que sea necesario mover otros pallets para alcanzar uno específico.

Características técnicas típicas:

Parámetro	Rango típico
Altura de almacenamiento	4 a 12 metros (puede llegar a 15 m con equipos especiales)
Capacidad de carga por nivel	500 a 3000 kg por par de vigas
Número de niveles	2 a 6 niveles (dependiendo de la altura)
Profundidad por posición	1 pallet (entrada simple)
Ancho de pasillo requerido	2.5 a 3.5 metros (para montacarga contrarrestil)
Densidad de almacenamiento	Baja (la más baja de los sistemas mecánicos)

2.2 Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
Acceso directo a cualquier pallet (100 % selectividad)	Baja densidad de almacenamiento (mucho espacio en pasillos)
Bajo costo de inversión por posición de pallet	Mayor costo por metro cuadrado construido (por los pasillos)
Instalación rápida y modular (fácil de ampliar)	Requiere montacargas de pasillo ancho o contrarrestil
Compatible con cualquier tipo de producto paletizado	No aprovecha bien alturas superiores a 12 m sin refuerzos
Fácil de reconfigurar (vigas ajustables en altura)	Mayor consumo de energía por recorridos de montacarga

2.3 Aplicaciones típicas

- Centros de distribución con alta variedad de SKU y rotación media o alta.
- Operaciones donde la selectividad (acceso a cualquier producto en cualquier momento) es crítica.
- Almacenes de retail, farmacéutico, electrónico, repuestos automotrices.
- Zonas de almacenamiento para SKU clase A y B (alta rotación).

2.4 Variante: estanterías selectivas para cajas (shelf racks)

Para productos que no se almacenan en pallets sino en cajas individuales o en unidades pequeñas, existen estanterías selectivas de menor altura (1.5 a 3 metros) con entrepaños de madera o metal. Son muy comunes en áreas de picking de productos de tamaño pequeño o mediano.

3. Racks de doble profundidad (double deep racks)

3.1 Descripción y características

Los racks de doble profundidad son una evolución de las estanterías selectivas en las que cada posición de almacenamiento tiene capacidad para dos pallets en línea (uno detrás de otro). Para acceder al pallet trasero, es necesario retirar primero el pallet delantero, a menos que se utilicen montacargas con mástil de doble alcance (reach truck con horquillas extensibles).

Características técnicas típicas:

Parámetro	Rango típico
Altura de almacenamiento	5 a 10 metros
Profundidad por posición	2 pallets (doble profundidad)
Ancho de pasillo requerido	2.8 a 3.2 metros (con reach truck)
Selectividad	Media (requiere mover pallet delantero para acceder al trasero)
Densidad de almacenamiento	25-40 % mayor que racks selectivos

3.2 Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
Mayor densidad que racks selectivos (menos pasillos)	Menor selectividad (no acceso directo al pallet trasero)
Menor costo por pallet almacenado que selectivos	Requiere equipos de doble alcance (reach truck)
Aprovecha mejor la altura del edificio	Mayor tiempo de acceso para pallets traseros

Ventajas	Desventajas
Ideal para SKU con dos pallets de profundidad (rotación media)	Mayor riesgo de daños por manipulación en profundidad
Menos inversión que sistemas compactos motorizados	No recomendable para productos con rotación muy alta

3.3 Aplicaciones típicas

- Centros de distribución con SKU de rotación media (clase B) donde se requiere más densidad que los selectivos, pero aún se necesita cierta selectividad.
- Operaciones con limitaciones de espacio en terreno (menos metros cuadrados disponibles).
- Almacenes de productos de consumo masivo con rotación moderada.

3.4 Consideraciones operativas

La gestión de inventarios en racks de doble profundidad debe ser cuidadosa. Una práctica común es almacenar el mismo SKU en ambas profundidades (delantero y trasero) para que el agotamiento del delantero exponga automáticamente el trasero. Otra práctica es usar sistemas FIFO (primeras entradas, primeras salidas) gestionados por WMS, indicando al operador qué pallet retirar primero.

4. Estanterías cantilever

4.1 Descripción y características

Las estanterías cantilever son sistemas de almacenamiento diseñados específicamente para productos largos, voluminosos o de forma irregular que no pueden almacenarse en racks convencionales. Consisten en una columna vertical central (mástil) de la que sobresalen brazos horizontales (voladizos) en uno o ambos lados. Los productos se apoyan sobre los brazos, sin necesidad de vigas frontales que limiten el acceso.

Características técnicas típicas:

Parámetro	Rango típico
Longitud de brazos	0.6 a 2.5 metros (según carga)
Capacidad por brazo	500 a 2000 kg
Altura del mástil	3 a 10 metros
Productos típicos	Tubos, perfiles, madera, barras, varillas, rollos de tela, láminas
Ancho de pasillo	3 a 5 metros (depende de la longitud del producto)

4.2 Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
Acceso sin obstrucciones a productos largos (sin vigas frontales)	No apto para productos pequeños o sueltos
Buena organización por longitud y tipo de material	Menor densidad que otros sistemas (productos muy largos requieren pasillos anchos)
Permite almacenar diferentes longitudes en un mismo sistema	Mayor inversión por posición que racks selectivos (para productos largos)
Fácil de instalar y reconfigurar (brazos ajustables en altura)	Requiere montacargas con mástil alto y horquillas largas
Ancho de pasillo	3 a 5 metros (depende de la longitud del producto)

4.3 Aplicaciones típicas

- Industria de la construcción (tubos estructurales, varillas, perfiles de aluminio).
- Industria maderera (tablones, listones, paneles).
- Distribuidores de acero y metales (barras, láminas).
- Textil (rollos de tela de gran longitud).
- Plásticos (tubos, perfiles extruidos).

4.4 Variantes

- Cantilever de un solo lado: Los brazos sobresalen solo hacia un lado, permitiendo apoyar la estructura contra una pared.

- Cantilever de doble lado: Los brazos sobresalen hacia ambos lados, maximizando el uso del espacio.
- Cantilever móvil: Montado sobre rieles para sistemas de alta densidad (similar a compactos móviles).

5. Sistemas compactos

Los sistemas compactos están diseñados para maximizar la densidad de almacenamiento reduciendo o eliminando los pasillos entre estanterías. Son ideales para productos de baja o media rotación (clase B y C) donde la accesibilidad inmediata no es crítica. Dentro de esta categoría se incluyen los sistemas push-back y drive-in (también llamados drive-through).

5.1 Sistema push-back

5.1.1 Descripción y características

El sistema push-back consiste en estanterías con carriles inclinados (levemente descendentes hacia el pasillo de carga) sobre los cuales se desplazan unos carros o pallets. Cuando se carga un nuevo pallet, este empuja (push back) a los anteriores hacia la parte trasera de la estantería. Al retirar el pallet delantero, los pallets traseros descienden por gravedad hacia el frente. Cada carril (calle) puede almacenar típicamente de 2 a 6 pallets en profundidad.

Características técnicas típicas:

Parámetro	Rango típico
Profundidad por carril	2 a 6 pallets
Número de niveles	2 a 5 niveles
Selectividad	Baja (solo el pallet delantero es accesible sin mover otros)
Principio de operación	LIFO (Last In, First Out —el último en entrar es el primero en salir)
Densidad de almacenamiento	50-70 % mayor que racks selectivos

5.1.2 Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
Alta densidad de almacenamiento (elimina pasillos internos)	Principio LIFO (no apto para productos con caducidad o FIFO obligatorio)
Un solo pasillo de acceso sirve para múltiples posiciones	Mayor costo por posición que racks selectivos
Menor tiempo de acceso que drive-in (el pallet delantero está inmediatamente disponible)	Requiere mantenimiento de carros y rieles
Bueno para productos con varias unidades del mismo SKU	No recomendable para alta rotación (el movimiento constante desgasta los carros)

5.1.3 Aplicaciones típicas

- Productos con demanda de baja a media rotación donde se almacenan varias unidades del mismo SKU.
- Almacenes de refacciones, repuestos, productos de temporada.
- Centros de distribución de bebidas (cerveza, refrescos) con alta densidad.
- Cuando se requiere LIFO deliberadamente (ej. productos que no caducan o donde el costo de inventario no es crítico).

5.2 Sistema drive-in (o drive-through)

5.2.1 Descripción y características

El sistema drive-in es uno de los sistemas de almacenamiento más densos disponibles para productos paletizados. Consiste en estanterías que forman túneles o calles por los cuales ingresa el montacargas. Los pallets se apoyan sobre rieles o vigas laterales, y el montacargas avanza dentro del túnel para depositar o retirar pallets en la posición deseada. En la variante drive-through, el túnel tiene salida por ambos extremos, permitiendo operar con principio FIFO (entrar por un lado, salir por el otro).

Características técnicas típicas:

Parámetro	Rango típico
Profundidad del túnel	5 a 15 pallets (o más)
Altura de almacenamiento	5 a 12 metros
Número de niveles	2 a 6 niveles
Selectividad	Muy baja (el montacargas debe ingresar al túnel para acceder a pallets internos)
Principio de operación	LIFO (drive-in) o FIFO (drive-through)
Densidad de almacenamiento	70-80 % mayor que racks selectivos (la más alta entre sistemas no automatizados)

5.2.2 Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
Densidad de almacenamiento extremadamente alta	Muy baja selectividad (tiempo de acceso alto para pallets internos)
Ideal para grandes cantidades del mismo SKU (ej. stocks de reserva)	Requiere montacargas de mástil alto y operador entrenado
Bajo costo por pallet almacenado (en alta densidad)	Riesgo de daños a la estructura por maniobras dentro del túnel
Puede diseñarse como FIFO (drive-through)	No recomendable para productos frágiles o de alto valor
Aprovecha al máximo el volumen del edificio	Mayor inversión inicial que selectivos, menor que AS/RS

5.2.3 Aplicaciones típicas

- Productos con baja rotación (clase C) donde se almacenan grandes volúmenes del mismo SKU.
- Almacenes de materias primas en industrias (ej. plásticos, químicos, alimentos a granel).
- Centros de distribución con espacio muy limitado donde la densidad es prioritaria sobre la accesibilidad.
- Reserva de inventario estacional que se retira en bloque (ej. juguetes en Navidad).

5.2.4 Comparación push-back vs drive-in

Criterio	Push-back	Drive-in
Densidad	Alta (50-70 % > selectivo)	Muy alta (70-80 % > selectivo)
Profundidad típica	2-6 pallets	5-15 pallets
Selectividad	Baja (solo frente)	Muy baja (requiere entrar al túnel)
Tiempo de acceso	Rápido para pallet frontal	Lento para pallets internos
Principio	LIFO	LIFO o FIFO (drive-through)
Costo por posición	Moderado	Bajo-moderado (a alta densidad)
Aplicación típica	Rotación media-baja, varios SKU	Rotación baja, pocos SKU por túnel

6. Sistemas automatizados de almacenamiento

Los sistemas automatizados de almacenamiento (AS/RS y miniload) representan el nivel más alto de tecnología en centros de distribución. Utilizan equipos mecanizados y computarizados para depositar y recuperar productos sin intervención humana directa (o con mínima intervención). Son ideales para operaciones de alta densidad, alta rotación y donde los costos de mano de obra son elevados.

6.1 AS/RS (Automated Storage and Retrieval System)

6.1.1 Descripción y características

El AS/RS (Sistema Automatizado de Almacenamiento y Recuperación) es un sistema de estanterías de alta altura (15 a 40 metros o más) servidas por transelevadores (o stacker cranes) que se desplazan sobre rieles en los pasillos. Cada transelevador tiene un mástil vertical que sube y baja una horquilla o plataforma para depositar o extraer pallets (o unidades de carga) en cualquier posición de la estantería. Todo el proceso es controlado por un sistema WCS (Warehouse Control System).

Características técnicas típicas:

Parámetro	Rango típico
Altura de almacenamiento	10 a 40 metros (puede llegar a 50 m)
Profundidad de almacenamiento	1 a 2 pallets (dependiendo del diseño)
Número de pasillos	Variable (cada pasillo tiene uno o dos transelevadores)
Capacidad por posición	500 a 2,000 kg
Velocidad del transelevador	Horizontal: hasta 5 m/s; Vertical: hasta 3 m/s
Selectividad	Total (acceso a cualquier pallet en cualquier momento)
Densidad de almacenamiento	Muy alta (pasillos muy estrechos, 1.2-1.5 m)

6.1.2 Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
Máxima densidad de almacenamiento (aprovecha toda la altura)	Inversión inicial muy alta (millones de dólares)
Alta productividad (acceso rápido, 24/7)	Larga implementación (12-24 meses)
Precisión absoluta (sin errores humanos en ubicación)	Requiere edificio especialmente diseñado (altura, cargas en piso)
Reduce drásticamente la mano de obra en almacenamiento	Baja flexibilidad para cambios de layout
Mejora la seguridad (elimina montacargas en pasillos)	Mantenimiento especializado costoso
Integración con WMS y sistemas de transporte	No apto para productos de muy baja rotación (amortización difícil)

6.1.3 Aplicaciones típicas

- Centros de distribución de gran volumen con alta rotación (ej. Amazon, Walmart, Carrefour).
- Industria automotriz (almacenamiento de partes justo a tiempo).
- Farmacéutica (control estricto de inventario, trazabilidad).
- Alimentos y bebidas (alta densidad y rotación).
- Cualquier operación donde el costo de terreno sea muy alto (obliga a construir en altura).

6.1.4 Configuraciones comunes de AS/RS

Configuración	Descripción	Aplicación
Unit load AS/RS	Maneja pallets completos (carga unitaria). Es la más común.	Almacenamiento de productos paletizados de rotación media-alta.
Mini-load AS/RS	Maneja cajas, bandejas o contenedores pequeños (ver sección 6.2).	Almacenamiento de productos pequeños para picking automatizado.
Micro-load AS/RS	Maneja piezas muy pequeñas (tornillos, conectores, componentes electrónicos).	Industria electrónica, farmacéutica, joyería.
AS/RS para pallets dobles	Cada posición almacena dos pallets en profundidad.	Mayor densidad a costa de menor selectividad.
Principio	LIFO	LIFO o FIFO (drive-through)
Costo por posición	Moderado	Bajo-moderado (a alta densidad)
Aplicación típica	Rotación media-baja, varios SKU	Rotación baja, pocos SKU por túnel

6.2 Miniload (Mini-load AS/RS)

6.2.1 Descripción y características

El miniload es una variante del AS/RS diseñada específicamente para manejar cargas ligeras y pequeñas, típicamente cajas, bandejas plásticas o contenedores de dimensiones reducidas (menos de 100 kg). Al igual que el AS/RS de carga unitaria, utiliza transelevadores para depositar y recuperar las unidades, pero las estanterías son más livianas y las velocidades suelen ser mayores.

Características técnicas típicas:

Parámetro	Rango típico
Peso por unidad	20 a 100 kg
Dimensiones de la unidad	Hasta 600 × 400 × 300 mm (típico)
Altura de almacenamiento	6 a 20 metros
Velocidad del transelevador	Muy alta (hasta 8 m/s horizontal, 4 m/s vertical)

Parámetro	Rango típico
Selectividad	Total
Uso típico	Alimentar estaciones de picking goods-to-person
Densidad de almacenamiento	Muy alta (pasillos muy estrechos, 1.2-1.5 m)

6.2.2 Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
Alta densidad para productos pequeños	Limitado a cargas ligeras
Ideal para sistemas de picking goods-to-person	Mayor costo por ubicación que estanterías estáticas
Alta velocidad de recuperación (cientos de cajas por hora)	Requiere cajas o bandejas estandarizadas
Reduce drásticamente los desplazamientos de operadores	Inversión significativa (menor que unit load AS/RS)

6.2.3 Aplicaciones típicas

- Centros de fulfillment de e-commerce con alta variedad de productos pequeños.
- Farmacias y distribución de medicamentos (alta precisión, lotes).
- Repuestos automotrices (componentes pequeños de alta rotación).
- Electrónica de consumo (teléfonos, accesorios, baterías).

6.2.4 Miniload como parte de un sistema goods-to-person

En una configuración típica de goods-to-person, el miniload extrae las bandejas o cajas que contienen los SKU solicitados y las envía mediante transportadores o vehículos autónomos (AGV/AMR) hasta una estación de picking. El operador, sin moverse de su estación, toma los productos necesarios de la bandeja y los coloca en el pedido correspondiente. Este sistema multiplica la productividad del picking entre 2 y 5 veces comparado con picking manual con desplazamiento.

7. Criterios para la selección del sistema de almacenamiento

La selección del sistema de almacenamiento adecuado debe considerar al menos los siguientes factores, ponderados según la estrategia de la organización:

7.1 Perfil de los SKU

Característica del SKU	Sistema recomendado
Alta rotación (clase A)	Selectivas, doble profundidad (si hay densidad), AS/RS
Rotación media (clase B)	Doble profundidad, push-back (2-3 profundidad)
Baja rotación (clase C)	Drive-in, push-back (4-6 profundidad)
Productos largos	Cantilever
Productos pequeños (alta variedad)	Miniload, estanterías para cajas
Productos con caducidad (requieren FIFO)	Selectivas, drive-through, AS/RS (con gestión FIFO)

7.2 Espacio disponible y costo del terreno

- **Terreno caro o espacio limitado:** Priorizar sistemas de alta densidad (push-back, drive-in, AS/RS, miniload).
- **Terreno abundante y económico:** Sistemas de baja densidad (selectivas) son aceptables, pues el costo de construir más metros cuadrados es bajo.

7.3 Volumen de movimientos (transacciones por hora)

- **Alto volumen de movimientos (>100 transacciones/hora por pasillo):** Sistemas de alta velocidad (AS/RS, miniload, selectivas con montacargas rápidos).
- **Bajo volumen de movimientos:** Sistemas compactos (drive-in, push-back) son aceptables, aunque el acceso sea más lento.

7.4 Inversión disponible y retorno esperado

- **Inversión limitada:** Selectivas, doble profundidad, cantilever.
- **Inversión moderada con ahorro de espacio:** Push-back, drive-in.
- **Inversión alta con reducción de mano de obra y alta productividad:** AS/RS, miniload.

7.5 Flexibilidad requerida

- **Alta flexibilidad (cambios frecuentes de SKU, layout variable):** Selectivas (modulares y reconfigurables).
- **Baja flexibilidad (productos estables por años):** AS/RS, drive-in, push-back.

8. Tendencias futuras en sistemas de almacenamiento

Tendencia	Descripción
AS/RS de altura extrema	Estanterías de 45-50 metros con transelevadores más rápidos y ligeros.
Shuttle systems	Sistemas automatizados donde vehículos autónomos (shuttles) se desplazan dentro de las estanterías para depositar/recuperar cajas o pallets. Mayor flexibilidad que los transelevadores fijos.
Robots móviles para almacenamiento (AMR con elevación)	Robots que levantan estanterías completas y las llevan al operador (ej. sistema de Kiva/Amazon Robotics).
Almacenamiento denso con vehículos autónomos	Pequeños vehículos que operan dentro de túneles de alta densidad sin necesidad de montacargas humanos.
Gemelos digitales para simulación de almacenamiento	Modelos virtuales que permiten probar diferentes configuraciones de sistemas antes de invertir.

9. Resumen del tema

- Los sistemas de almacenamiento se seleccionan según el equilibrio entre densidad, selectividad, costo y velocidad de acceso.
- Las estanterías selectivas son la opción más versátil y de menor inversión, ideales para alta rotación y alta selectividad.

- Los racks de doble profundidad aumentan la densidad con una pérdida moderada de selectividad, adecuados para rotación media.
- Las estanterías cantilever resuelven el almacenamiento de productos largos (tubos, perfiles, madera).
- Los sistemas compactos (push-back, drive-in) ofrecen alta densidad a costa de baja selectividad, ideales para rotación media-baja y grandes volúmenes del mismo SKU.
- Los sistemas automatizados AS/RS y miniload representan la máxima densidad, selectividad y productividad, pero con alta inversión inicial. Son adecuados para operaciones de gran escala, terrenos caros o donde la mano de obra es costosa.
- La selección del sistema debe basarse en un análisis detallado del perfil de SKU, rotación, espacio disponible, inversión y flexibilidad requerida.

Preguntas de reflexión para el estudiante

1. ¿Por qué un sistema de almacenamiento de alta densidad (como drive-in) no es adecuado para productos de alta rotación? Explique con argumentos operativos.

2. En una operación de e-commerce con 50 000 SKU, donde la mayoría de los productos son pequeños (menos de 2 kg) y la rotación es muy variable (algunos SKU se piden cientos de veces al día, otros una vez al mes), ¿qué combinación de sistemas de almacenamiento recomendaría y por qué?

3. Compare los sistemas push-back y drive-in en términos de principio de operación (LIFO vs. FIFO), densidad alcanzable y facilidad de acceso. ¿En qué situación elegiría uno sobre el otro?

4. ¿Qué ventajas ofrece un sistema miniload integrado con picking goods-to-person frente a un sistema de estanterías selectivas con picking manual por voz? Considere inversión, productividad y flexibilidad.

5. Una empresa farmacéutica debe almacenar medicamentos con control de lotes y caducidad (FIFO estricto). De los sistemas estudiados, ¿cuáles cumplen con el requisito FIFO y cuáles no? Justifique.

6. Si el costo del terreno en una zona metropolitana es de \$2000 USD por metro cuadrado, ¿cómo influye esto en la decisión entre instalar racks selectivos (baja densidad) versus un AS/RS (alta densidad)? Realice un análisis cualitativo de los costos de construcción versus los costos de operación.

III

Procesos operativos y gestión de flujos

Introducción

Una vez definidos los fundamentos estratégicos del centro de distribución y diseñada su infraestructura física, el siguiente nivel de análisis se centra en el corazón de la operación diaria: los procesos operativos y la gestión de flujos de materiales e información. Este capítulo aborda la secuencia de actividades que transforman la mercancía entrante en pedidos salientes, garantizando que los productos correctos lleguen al cliente correcto, en la cantidad correcta, en el momento correcto y en las condiciones correctas.

Los procesos operativos de un centro de distribución no son una simple sucesión de tareas mecánicas. Constituyen un sistema integrado donde cada actividad influye en la eficiencia de las siguientes, y donde las decisiones sobre métodos, tecnologías y organización del trabajo determinan en gran medida la productividad, la precisión y el costo de la operación. Un centro de distribución puede tener el mejor diseño de layout y los sistemas de almacenamiento más avanzados, pero si sus procesos operativos son deficientes, la ventaja competitiva se diluye rápidamente.

El presente capítulo se organiza en torno a la secuencia lógica del flujo de materiales dentro de un centro de distribución, desde la llegada de la mercancía hasta su salida hacia el cliente. Se cubren en detalle los siguientes procesos:

En primer lugar, se aborda la gestión de recepción, que incluye la programación de citas con proveedores, la descarga física de los productos, la verificación de cantidades y condiciones contra la documentación, el control de calidad y la asignación de ubicaciones de almacenamiento (put-away). La recepción es la puerta de entrada del centro de distribución y su eficiencia condiciona todo el flujo posterior.

En segundo lugar, se analiza el almacenamiento y la reubicación de productos, incluyendo las políticas de ubicación (fija, aleatoria, mixta), la optimización del espacio volumétrico, la rotación de inventarios según

principios PEPS (primeras entradas, primeras salidas), UEPS o FEFO (primeras fechas de caducidad, primeras salidas), y las estrategias para reducir la fragmentación del espacio.

El tercer bloque se dedica a la preparación de pedidos (picking), el proceso más intensivo en mano de obra y, por lo tanto, el de mayor impacto en la productividad y el costo operativo. Se examinan las diferentes metodologías de picking (por orden, por lote, por zona, por onda), las tecnologías asociadas (voice picking, pick-to-light, radiofrecuencia, pick-by-vision) y los criterios para seleccionar la estrategia más adecuada según el perfil de pedidos y productos.

En cuarto lugar, se aborda el embalaje, consolidación y expedición, procesos que cierran el ciclo operativo. Se analizan las técnicas para optimizar el uso de materiales de empaque, el etiquetado para trazabilidad, la consolidación de pedidos por ruta o transportista y la carga eficiente de los vehículos de distribución.

Finalmente, se dedica una sección especial a la gestión de devoluciones (logística inversa), un proceso que ha cobrado enorme relevancia con el auge del comercio electrónico y las devoluciones gratuitas. Se presentan los flujos de clasificación, reintegración al inventario, reparación, reciclaje o disposición final, así como las implicaciones en costos y nivel de servicio.

A lo largo del capítulo, se enfatiza la importancia de la gestión de flujos de información como habilitador de los flujos físicos. Los sistemas WMS (Warehouse Management System) son el cerebro que coordina y optimiza cada uno de los procesos descritos, y su integración con otros sistemas (ERP, TMS, OMS) es condición necesaria para una operación eficiente.

El estudio de los procesos operativos no se limita a la descripción de actividades. Se invita al lector a comprender las lógicas de decisión que subyacen a cada proceso, las métricas que permiten evaluar su desempeño y las metodologías de mejora continua (Lean Warehousing, Six Sigma) que pueden aplicarse para incrementar la productividad y reducir errores.

Al finalizar este capítulo, el estudiante estará en condiciones de diseñar, evaluar y mejorar los procesos operativos de un centro de distribución, comprendiendo cómo cada actividad contribuye al objetivo final: entregar

valor al cliente al menor costo posible. Los conceptos aquí desarrollados son aplicables tanto a centros de distribución tradicionales (B2B) como a los centros de fulfillment de comercio electrónico (B2C), aunque se señalan las diferencias más relevantes cuando corresponde.

La excelencia operativa en los centros de distribución no es un destino, sino un camino de mejora continua. Este capítulo proporciona las herramientas para iniciar y recorrer ese camino con fundamentos sólidos.

Capítulo 8

Gestión de recepción: Programación de citas, descarga, verificación, put-away (ubicación) y control de calidad

1. Introducción a la gestión de recepción

La recepción es el primer eslabón de la cadena de procesos operativos dentro de un centro de distribución. Constituye la puerta de entrada de todos los productos que posteriormente serán almacenados, preparados y despachados hacia los clientes. Una gestión de recepción eficiente es condición necesaria para el buen desempeño de todo el centro de distribución, ya que los errores o demoras en esta etapa se propagan y amplifican a lo largo de los procesos posteriores.

La recepción no es una actividad simple de “recibir y guardar”. Por el contrario, implica una secuencia coordinada de subprocesos que incluyen la planificación de la llegada de los proveedores, la descarga física de la mercancía, la verificación de cantidades y condiciones, el registro en los sistemas de información, la inspección de calidad y la asignación y traslado de los productos a sus ubicaciones de almacenamiento definitivas. Cada uno de estos subprocesos debe ser cuidadosamente diseñado, medido y mejorado continuamente.

Este tema desarrolla en detalle cada uno de los componentes de la gestión de recepción, desde la programación de citas (que evita congestionamientos en los muelles) hasta el put-away (que coloca los productos en las ubicaciones óptimas dentro del almacén), pasando por la descarga, la verificación documental y el control de calidad. Se analizan las mejores prácticas, las tecnologías de apoyo, los indicadores clave de desempeño (KPIs) y los errores más comunes que deben evitarse.

2. Programación de citas (appointment scheduling)

2.1 Definición y propósito

La programación de citas (también llamada appointment scheduling o docking scheduling) es el proceso mediante el cual se asigna a cada proveedor o transportista una hora específica para la llegada y descarga de sus productos en el centro de distribución. El propósito fundamental es evitar

la congestión en los muelles de recepción, distribuyendo la llegada de los camiones a lo largo del día de manera equilibrada.

Sin una programación de citas efectiva, los camiones tienden a concentrarse en ciertas horas (generalmente al inicio de la jornada o después de la hora de comida), generando filas, tiempos de espera innecesarios, horas extra para el personal y tensiones con los proveedores. Con una programación adecuada, se maximiza la utilización de los muelles y se reduce el tiempo que los camiones permanecen en las instalaciones.

2.2 Beneficios de la programación de citas

Beneficio	Explicación
Reducción de tiempos de espera	Los camiones no hacen fila prolongadamente; llegan cuando el muelle está disponible.
Mejor utilización de muelles	Se evitan periodos de inactividad y horas pico saturadas.
Planificación de personal	El supervisor de recepción puede dimensionar las cuadrillas según la carga prevista por hora.
Menor congestión en el patio de maniobras	Se reduce el riesgo de accidentes y se facilita la circulación.
Mejor relación con proveedores y transportistas	Los conductores no pierden horas de trabajo esperando.
Mayor precisión en la recepción	Con menor presión por saturación, se reducen errores en la verificación.
Cumplimiento de ventanas de tiempo	Facilita la sincronización con operaciones de cross-docking o JIT.

2.3 Métodos de programación de citas

Método	Descripción	Ventajas	Desventajas
Manual (teléfono/correo)	El proveedor llama o envía un correo para solicitar una cita; el personal del CEDIS la asigna en una hoja de cálculo.	Bajo costo de implementación	Propenso a errores, doubles reservas, difícil de modificar en tiempo real
Portal web básico	El proveedor accede a un sitio web donde ve los horarios disponibles y selecciona uno.	Automatización parcial, visible para múltiples proveedores	No integrado con WMS; requiere alimentación manual

Método	Descripción	Ventajas	Desventajas
Sistema integrado con WMS	La cita se registra directamente en el WMS, que actualiza la disponibilidad de muelles y envía confirmaciones automáticas.	Alta precisión, integración con otros procesos	Mayor inversión en software
Sistema con ventanas dinámicas	El sistema asigna citas según el volumen estimado de cada proveedor (ej. camiones con más pallets requieren más tiempo).	Optimización avanzada	Requiere datos históricos y algoritmos de planificación

2.4 Información típica incluida en una cita

Una cita de recepción debe contener al menos los siguientes datos:

- **Proveedor o transportista:** Nombre y datos de contacto.
- **Número de identificación del embarque:** Orden de compra, número de guía, manifiesto de carga.
- **Fecha y hora de llegada:** Ventana de tiempo asignada (ej. 10:00 AM a 11:00 AM).
- **Muelle asignado:** Número de puerta de descarga.
- **Volumen estimado:** Número de pallets, cajas o unidades.
- **Tiempo estimado de descarga:** Calculado en función del volumen.
- **Requerimientos especiales:** Refrigeración, grúa, montacargas especial, documentación adicional.

2.5 Indicadores clave para la programación de citas

Indicador	Fórmula	Interpretación
Tasa de cumplimiento de citas	$(\text{Citas cumplidas en horario}) / (\text{Total de citas programadas}) \times 100$	>95 % es excelente; <85 % indica problemas de disciplina con proveedores.
Tiempo de espera promedio	$\Sigma(\text{tiempo desde llegada hasta inicio de descarga}) / \text{Número de camiones}$	Ideal: <30 minutos. Aceptable: 30-60 minutos. Crítico: >90 minutos.
Utilización de muelles	$(\text{Tiempo total de uso de muelles}) / (\text{Número de muelles} \times \text{Horas de operación}) \times 100$	>80 % es alta utilización; <50 % indica subutilización o mala programación.
Tasa de no-show	$(\text{Citas no presentadas}) / (\text{Total de citas}) \times 100$	Ideal: <5 %. Alto: >10 % (investigar causas).

3. Descarga

3.1 Definición y propósito

La descarga es el proceso físico de retirar los productos del vehículo de transporte (camión, contenedor, furgoneta) y trasladarlos al área de recepción del centro de distribución. Aunque parece una actividad puramente mecánica, la descarga implica decisiones importantes sobre métodos, equipos y secuencias que afectan la productividad y la integridad de la mercancía.

3.2 Métodos de descarga

Método	Descripción	Equipo típico	Aplicación
Descarga manual	Operadores retiran las unidades de carga una por una.	Transpaleta manual, carretilla de mano	Volúmenes pequeños, productos livianos
Descarga con montacargas	El montacargas ingresa al camión o se posiciona en el muelle para retirar pallets completos.	Montacarga contrarrestil o de mástil retráctil	Pallets estandarizados, camiones de piso plano
Descarga con plataforma niveladora	Se nivela el muelle a la altura del piso del camión; se utilizan transpaletas eléctricas.	Transpaleta eléctrica, nivelador de muelle	Productos en tarimas o ruedas
Descarga con sistemas automatizados	El camión se acopla a un sistema de transportadores que extrae la carga automáticamente.	Transportadores extensibles, sistemas de vacío	Alto volumen, productos uniformes
Descarga lateral	Se abre el costado del camión (cortina corrediza) para acceder desde el lateral.	Montacarga de paso estrecho	Centros de distribución con patios amplios

3.3 Consideraciones para una descarga eficiente

- **Preparación previa:** Antes de que el camión llegue, el personal debe tener listos los equipos (montacargas, transpaletas, escáneres) y el área de recepción temporal despejada.
- **Secuencia de descarga:** Si el camión trae múltiples órdenes de compra o productos para diferentes áreas del almacén, la descarga debe organizarse para agrupar productos similares y facilitar la verificación posterior.

- **Seguridad:** El operador debe verificar que el camión esté inmovilizado (frenos puestos, calzos en las ruedas) antes de ingresar. En muelles con plataforma, se debe respetar la capacidad de carga del nivelador.
- **Recepción de documentación:** Simultáneamente a la descarga, el conductor debe entregar la documentación (manifiesto de carga, carta porte, factura) al personal administrativo.

3.4 Equipos comunes en la descarga

Equipo	Función	Capacidad típica
Montacarga contrarrestil	Levantar y transportar pallets de hasta 2.5 toneladas	2000 - 3500 kg
Montacarga de mástil retráctil (reach truck)	Ideal para pasillos estrechos; puede ingresar al camión	1000 - 2500 kg
Transpaleta eléctrica	Transporte de pallets en distancias cortas, sin necesidad de levantar	1500 - 3000 kg
Transpaleta manual	Para cargas ligeras o distancias muy cortas	500 - 2000 kg
Cinta transportadora extensible	Se introduce dentro del camión para descargar cajas sueltas sin montacargas	Hasta 50 kg por metro lineal

3.5 Indicadores clave para la descarga

Indicador	Fórmula	Interpretación
Tiempo de descarga por camión	$\frac{\text{Hora de fin de descarga} - \text{Hora de inicio de descarga}}{1}$	Varía según volumen; objetivo típico: <60 minutos para 30 pallets.
Productividad de descarga	$\frac{\text{Unidades descargadas}}{\text{Horas hombre de descarga}}$	Ejemplo: 60 pallets / hora para un equipo de 2 operadores.
Tasa de daños en descarga	$\frac{\text{Unidades dañadas durante descarga}}{\text{Total unidades descargadas}} \times 100$	Objetivo: <0.1 % para productos estándar; <0.01 % para productos frágiles.

4. Verificación

4.1 Definición y propósito

La verificación es el proceso de cotejar la mercancía recibida contra la documentación de respaldo (orden de compra, albarán, manifiesto de carga). Su propósito es confirmar que lo que el proveedor dice haber enviado es exactamente lo que ha llegado al centro de distribución, tanto en cantidad como en tipo de producto.

La verificación es un control crítico para evitar:

- **Faltantes:** Productos que el proveedor no envió, pero que el cliente pagó.
- **Sobrantes:** Productos no pedidos que ocupan espacio y generan problemas de inventario.
- **Productos equivocados:** SKU diferentes a los solicitados.
- **Duplicidades:** El mismo producto registrado dos veces por error.

4.2 Métodos de verificación

Método	Descripción	Precisión típica	Velocidad	Aplicación
Conteo manual y anotación en papel	El operador cuenta unidades y anota en un formato impreso.	Baja (propensa a errores)	Muy lenta	Solo para volúmenes muy pequeños o sistemas sin tecnología
Conteo con terminal de radiofrecuencia (RF)	El operador escanea códigos de barras o ingresa cantidades en una terminal portátil que se comunica con el WMS.	Alta (99.5 %+)	Rápida	Método estándar en centros de distribución modernos
Verificación por peso	Se pesa la carga total o parcial y se compara con el peso teórico ($\text{SKU} \times \text{peso unitario}$).	Media (depende de uniformidad de peso)	Muy rápida	Productos uniformes (ej. sacos de granos, bloques de hielo)
Verificación por volumen	Se mide el volumen ocupado y se compara con el volumen teórico.	Media	Rápida	Productos de densidad constante

4.3 Proceso típico de verificación con RF

Método	Descripción	Precisión típica	Velocidad	Aplicación
Verificación con visión artificial	Cámaras y algoritmos reconocen productos y cuentan unidades automáticamente.	Muy alta (99.9 %+)	Instantánea	Alto volumen, productos con formas reconocibles
Verificación por muestreo	Se verifica solo una muestra representativa (ej. 10 % de las cajas).	Depende del muestreo	Rápida	Cuando el proveedor es confiable y hay relación de confianza

1. **Escaneo del documento de recepción:** El operador escanea el código de barras de la orden de compra o del manifiesto.
2. **Escaneo del primer producto:** Se escanea el código de barras del producto (en la caja o en el pallet). El WMS valida que corresponda a la orden de compra.
3. **Ingreso de cantidad:** El operador ingresa la cantidad recibida. El WMS puede sugerir la cantidad esperada para acelerar el proceso.
4. **Confirmación:** El sistema registra la recepción y actualiza el inventario (en tránsito o disponible).
5. **Excepción:** Si la cantidad no coincide o el producto no está en la orden, el sistema genera una alerta para su investigación.

4.4 Manejo de discrepancias (no conformidades)

Cuando la verificación detecta una discrepancia, se debe seguir un procedimiento estandarizado:

Tipo de discrepancia	Acción típica
Faltante parcial	Registrar la cantidad recibida. Notificar al proveedor. El comprador decide si acepta la diferencia o solicita reposición.
Sobrante parcial	Registrar la cantidad recibida. Notificar al proveedor. Si el producto es aceptable, se puede negociar un precio adicional o devolver.

Tipo de discrepancia	Acción típica
Producto equivocado	No recibir en inventario. Aislar el producto en un área de cuarentena. Contactar al proveedor para instrucciones (devolución o aceptación con descuento).
Daños visibles	Registrar daños. Decidir si se rechaza total o parcialmente, o se acepta con descuento (negociado previamente).
Documentación faltante	Retener la mercancía en recepción hasta recibir la documentación. Establecer un plazo máximo; si se excede, devolver al proveedor.

4.5 Documentos involucrados en la verificación

Documento	Emisor	Contenido clave
Orden de compra (OC)	Comprador (cliente)	SKU, cantidades solicitadas, precios acordados, fecha de entrega.
Albarán / Remito / Delivery note	Proveedor	SKU, cantidades enviadas, número de bultos, fecha de envío.
Manifiesto de carga / Carta porte	Transportista	Relación de bultos, peso total, origen, destino, conductor.
Factura comercial	Proveedor	Detalle de productos, precios, impuestos, condiciones de pago.
Reporte de recepción (WMS)	Centro de distribución	Cantidades recibidas, discrepancias, fecha y hora, operador responsable.

4.6 Indicadores clave para la verificación

Indicador	Fórmula	Interpretación
Precisión de la recepción	$(\text{Órdenes sin discrepancias}) / (\text{Total de órdenes recibidas}) \times 100$	Objetivo: >99.5 %.
Tiempo de verificación por línea	$(\text{Tiempo total de verificación}) / (\text{Número de líneas de OC})$	Objetivo: <30 segundos por línea (con RF).
Tasa de devoluciones a proveedores	$(\text{Valor devuelto}) / (\text{Valor total recibido}) \times 100$	Ideal: <2 %. Alta: investigar calidad de proveedores.
Precisión de conteo cíclico post-recepción	$(\text{Ubicaciones sin error en conteo posterior}) / (\text{Total ubicaciones auditadas}) \times 100$	Debe ser >99.9 % para considerar la recepción confiable.

5. Control de calidad (incoming quality control)

5.1 Definición y propósito

El control de calidad de entrada (incoming quality control o receiving inspection) es el proceso de verificar que los productos recibidos cumplen con las especificaciones de calidad definidas por la empresa: dimensiones, peso, color, funcionalidad, integridad del empaque, caducidad, temperatura, entre otros atributos.

Mientras que la verificación se enfoca en cantidad y tipo de producto, el control de calidad se enfoca en condiciones y conformidad. Un producto puede ser el SKU correcto y en la cantidad correcta, pero si está dañado, caducado o fuera de especificación, no puede ser vendido o utilizado.

5.2 Niveles de inspección de calidad

Nivel	Descripción	Aplicación	Muestra típica
Inspección al 100 %	Cada unidad, caja o pallet es inspeccionado individualmente.	Productos críticos (farmacéuticos, componentes aeroespaciales, alimentos para bebés)	100 % de las unidades
Inspección por muestreo	Se inspecciona una muestra aleatoria representativa.	Productos de consumo masivo con proveedores confiables	Según norma ANSI / ASQ Z1.4 (ej. nivel II, AQL 1.5)
Inspección por atributos críticos	Solo se verifican los atributos más importantes (ej. caducidad, temperatura, integridad del sello).	Productos perecederos, sensibles a la temperatura	Variable según el riesgo
Inspección documental	Se revisan certificados de análisis, de calibración, de origen, etc., sin inspección física.	Materias primas químicas, productos importados con requisitos aduanales	100 % de la documentación
Inspección por lotes de referencia	Se inspecciona un lote piloto; si pasa, los lotes siguientes se aceptan sin inspección (hasta un cambio significativo).	Proveedores de larga relación con calidad demostrada	Primer lote al 100 %, siguientes por muestreo reducido

5.3 Atributos típicos a inspeccionar

Categoría	Atributos	Método de inspección
Integridad física	Golpes, abolladuras, roturas, deformaciones, humedad	Inspección visual, palpación
Dimensiones	Largo, ancho, alto, diámetro, espesor	Calibrador, pie de rey, cinta métrica
Peso	Peso unitario, peso neto, peso bruto	Báscula, balanza
Temperatura	Temperatura del producto al momento de la recepción (crítico para refrigerados/congelados)	Termómetro infrarrojo, sonda, registrador de datos
Caducidad	Fecha de caducidad o fecha de consumo preferente	Inspección visual, escaneo de código de barras
Empaque	Integridad del sello, etiquetado correcto, instrucciones legibles	Inspección visual
Funcionalidad	El producto opera como se espera (ej. un electrodoméstico enciende)	Prueba funcional (muestra)
Color, olor, textura	Atributos organolépticos (para alimentos, cosméticos, textiles)	Comparación con estándar, prueba sensorial

5.4 Procedimiento de control de calidad en recepción

1. **Identificación del nivel de inspección requerido:** Según el tipo de producto, la criticidad y la confiabilidad del proveedor, se define si se inspecciona al 100 %, por muestreo o solo documental.
2. **Toma de muestra (si aplica):** Se selecciona aleatoriamente la muestra según un plan de muestreo predefinido.
3. **Inspección:** Se aplican los métodos correspondientes (visual, medición, prueba funcional, etc.).
4. **Registro de resultados:** Cada atributo inspeccionado se registra en el sistema (WMS) o en un formato específico.
5. **Decisión:**
 - **Aceptar:** El producto cumple con todas las especificaciones. Procede al put-away.
 - **Aceptar con concesión:** Hay desviaciones menores que no afectan la funcionalidad o seguridad. Se requiere autorización de calidad o compras.

- **Rechazar:** El producto no cumple. Se aísla en cuarentena y se inicia proceso de devolución o disposición.
6. **Documentación:** Se genera un reporte de inspección que queda disponible para auditorías y seguimiento al proveedor.

5.5 Cuarentena y productos no conformes

Los productos que no pasan el control de calidad deben ser aislados físicamente del inventario apto para la venta. Se utiliza un área de cuarentena con señalización clara y acceso restringido. El sistema WMS debe marcar estos productos como “no disponibles” o “bloqueados”.

Destinos posibles para productos no conformes:

Destino	Descripción	Plazo típico
Devolución al proveedor	Se coordina el retiro del producto, a costo del proveedor (si es responsable).	1-2 semanas
Reparación / reacondicionamiento interno	El centro de distribución repara el producto (si tiene capacidades para ello).	Variable
Venta como producto de segunda / outlet	Se vende con descuento, etiquetado claramente como no conforme.	Inmediato
Donación	Se dona a organizaciones benéficas (con acuerdo de no responsabilidad).	Inmediato
Reciclaje o disposición final	Se desecha o recicla según normativas ambientales.	Inmediato

5.6 Indicadores clave para control de calidad

Indicador	Fórmula	Interpretación
Tasa de rechazo en recepción	$\frac{(\text{Valor o unidades rechazadas})}{(\text{Valor o unidades totales recibidas})} \times 100$	Ideal: <1% para proveedores calificados. >5%: investigar.
Costo de no calidad	Costo de devoluciones + costo de reinspección + costo de producto no vendible	Debe ser rastreado por proveedor para negociaciones.
Efectividad del plan de muestreo	$\frac{(\text{No conformidades detectadas})}{(\text{No conformidades totales existentes})} \times 100$	Debe ser >95% para que el muestreo sea confiable.

Indicador	Fórmula	Interpretación
Tiempo en cuarentena	Fecha de liberación o disposición - Fecha de recepción	Objetivo: <48 horas para productos no críticos; <24 horas para perecederos.

6. Put-away (ubicación)

6.1 Definición y propósito

El put-away (también llamado ubicación, almacenamiento o storing) es el proceso de trasladar los productos ya verificados y aceptados desde el área de recepción hasta sus ubicaciones definitivas dentro del centro de distribución. Es el último eslabón de la recepción y el enlace con el proceso de almacenamiento.

El objetivo del put-away no es simplemente “guardar” los productos, sino colocarlos en las ubicaciones más adecuadas para facilitar su posterior localización y preparación de pedidos. Un buen put-away reduce los tiempos de picking, minimiza los recorridos, optimiza el uso del espacio y mantiene la integridad de los productos.

6.2 Políticas de ubicación

La decisión de dónde colocar cada producto es una de las más relevantes en la gestión de almacenes. Existen tres políticas principales:

Política	Descripción	Ventajas	Desventajas
Ubicación fija (dedicada)	Cada SKU tiene una ubicación permanente y exclusiva, independientemente de si hay inventario o no.	Fácil de recordar para operadores; ideal para SKU de alta rotación.	Baja utilización del espacio (ubicaciones vacías cuando el SKU se agota).
Ubicación aleatoria (caótica)	Los productos se colocan en cualquier ubicación disponible; el WMS registra dónde está cada SKU.	Máxima utilización del espacio; ideal para alta variedad de SKU.	Requiere WMS robusto; puede generar recorridos largos si no se optimiza.

Política	Descripción	Ventajas	Desventajas
Ubicación mixta (zonificada)	Se definen zonas (ej. por rotación, por tamaño, por tipo de producto); dentro de cada zona, la ubicación es aleatoria.	Combina eficiencia de espacio con agrupación lógica.	Requiere diseño cuidadoso de zonas.

6.3 Criterios para la asignación de ubicaciones en el put-away

En la práctica, el put-away debe considerar múltiples criterios para optimizar la operación:

Criterio	Regla de asignación	Ejemplo
Rotación (clasificación ABC)	Los SKU de alta rotación (A) se ubican cerca de las áreas de picking y expedición; los de baja rotación (C), en zonas alejadas o alturas superiores.	Jabón líquido (A) en estanterías a nivel de cintura en zona de picking; repuestos (C) en racks push-back en la parte trasera.
Volumen / peso	Los productos pesados se ubican en niveles bajos (seguridad, ergonomía); los livianos, en niveles altos.	Baterías (20 kg) en nivel 1; paquetes de esponjas (0.5 kg) en nivel 4.
Compatibilidad	Productos incompatibles (químicos, olores fuertes, alérgenos) se ubican en zonas separadas.	Lejía (cloro) no se ubica cerca de alimentos.
Frecuencia de acceso	Productos que se acceden juntos frecuentemente (por combinación en pedidos) se ubican cerca.	Harina y azúcar (se piden juntas en repostería) en zonas adyacentes.
Tamaño de la unidad de carga	Unidades grandes (pallets) en estanterías de pasillo ancho; unidades pequeñas (cajas) en estanterías de picking.	Pallets de refrescos en racks selectivos; cajas de medicinas en estanterías para cajas.
Caducidad / FIFO	Productos con fecha de caducidad cercana se ubican donde sean accesibles primero (FIFO).	Lácteos con caducidad próxima en posición delantera de la estantería.

6.4 Métodos de put-away

Método	Descripción	Tecnología requerida	Productividad
Put-away dirigido por papel	El supervisor imprime una lista de ubicaciones asignadas; el operador sigue la lista.	Impresora, papel	Baja (lento, propenso a errores)
Put-away dirigido por RF (recomendado)	La terminal RF del montacargas indica al operador a qué ubicación llevar cada producto, basado en algoritmos del WMS.	Terminal RF, WMS	Alta (el operador no decide, solo ejecuta)
Put-away optimizado por lote	El WMS agrupa varios productos que deben ir a zonas cercanas y asigna una ruta óptima al operador.	WMS avanzado, geolocalización	Muy alta (reduce recorridos vacíos)
Put-away automatizado (AS/RS)	Los transelevadores o shuttles colocan los productos automáticamente sin intervención humana.	AS/RS, WCS	Máxima (24/7, sin errores)

6.5 Proceso típico de put-away dirigido por RF

1. **Producto verificado y aceptado:** El producto está en el área de recepción, con su etiqueta escaneable.
2. **El operador escanea el producto:** La terminal RF identifica el SKU y consulta al WMS.
3. **El WMS asigna una ubicación:** Según los criterios programados (rotación, tamaño, compatibilidad, espacio disponible).
4. **El operador traslada el producto:** Siguiendo la ruta indicada por el sistema (o su propio criterio si no hay ruta optimizada).
5. **Escanea la ubicación:** Antes de depositar, escanea el código de barras de la ubicación (estantería, nivel, posición).
6. **Deposita el producto:** Coloca la unidad de carga en la ubicación.
7. **Confirma en el RF:** El sistema registra la transacción y actualiza el inventario.

6.6 Indicadores clave para el put-away

Indicador	Fórmula	Interpretación
Tiempo de ciclo de put-away	Hora de fin de put-away - Hora de inicio de verificación	Objetivo: <30 minutos desde verificación hasta almacenado.
Productividad del put-away	(Unidades ubicadas) / (Horas hombre de put-away)	Ejemplo: 40 pallets/hora con montacarga.
Precisión del put-away	(Ubicaciones correctas) / (Total ubicaciones realizadas) $\times$ 100	Objetivo: >99.9 % (los errores aquí generan problemas de inventario graves).
Distancia recorrida por unidad	(Kilómetros recorridos por operadores de put-away) / (Unidades ubicadas)	Debe minimizarse con rutas optimizadas.
Utilización del espacio de almacenamiento	(Espacio ocupado) / (Espacio total disponible) $\times$ 100	Ideal: 85-90 % (dejar espacio para maniobras y crecimiento).

7. Integración de la gestión de recepción con otros procesos

La recepción no opera en aislamiento. Una gestión eficiente requiere integración con:

- **Compras:** Las órdenes de compra deben estar cerradas y aprobadas antes de que llegue la mercancía. Las discrepancias deben ser comunicadas a compras para negociación con proveedores.
- **Transporte:** La programación de citas debe coordinarse con los transportistas para evitar esperas. La información de descarga (peso, volumen) alimenta la planificación de carga de salida.
- **Almacenamiento:** El put-away alimenta el inventario disponible. Las decisiones de ubicación afectan la eficiencia del picking.
- **Control de calidad:** Los resultados de inspección deben retroalimentar la evaluación de proveedores y los planes de muestreo.
- **Finanzas:** Las recepciones confirmadas generan la obligación de pago al proveedor (cuentas por pagar). Las devoluciones generan notas de crédito.

8. Mejores prácticas en la gestión de recepción

A continuación, se enumeran las prácticas más efectivas observadas en centros de distribución de clase mundial:

Práctica	Beneficio
Implementar un sistema de programación de citas en línea	Reduce tiempos de espera y mejora la relación con transportistas.
Capacitar al personal en verificación con RF	Aumenta precisión y velocidad; reduce errores.
Realizar control de calidad por muestreo estadístico	Equilibra calidad y productividad.
Automatizar el put-away con algoritmos de optimización	Minimiza recorridos y maximiza uso del espacio.
Establecer acuerdos de nivel de servicio (SLAs) con proveedores	Define tiempos de respuesta para discrepancias y devoluciones.
Realizar auditorías sorpresa de precisión de put-away	Detecta errores sistémicos antes de que afecten el picking.
Medir y publicar KPIs de recepción diariamente	Crea conciencia y fomenta la mejora continua.
Diseñar el área de recepción con suficiente espacio de amortiguamiento	Evita cuellos de botella cuando hay múltiples camiones simultáneos.
Estandarizar los empaques y etiquetas de proveedores	Facilita la verificación automática y reduce excepciones.
Implementar cross-docking para productos de alta rotación	Elimina el put-away y el picking, acelerando el flujo.

9. Resumen del tema

- La gestión de recepción es el conjunto de procesos que va desde la llegada del camión hasta la ubicación definitiva de los productos en el almacén. Su eficiencia condiciona todo el flujo posterior.
- La programación de citas distribuye las llegadas de los proveedores a lo largo del día, evitando congestionamientos y optimizando el uso de muelles y personal.
- La descarga debe realizarse con los equipos adecuados (montacargas, transpaletas, transportadores) y con estrictas medidas de seguridad.

- La verificación coteja cantidades y tipos de producto contra la documentación, utilizando preferentemente terminales de radiofrecuencia (RF) para alcanzar precisiones superiores al 99.5 %.
- El control de calidad de entrada inspecciona atributos como integridad, dimensiones, temperatura, caducidad y funcionalidad. Los productos no conformes se aíslan en cuarentena y se gestionan (devolución, reparación, donación o disposición).
- El put-away es la ubicación de los productos en el almacén según políticas (fija, aleatoria o mixta) y criterios de optimización (rotación, peso, compatibilidad, frecuencia de acceso). El put-away dirigido por WMS maximiza la eficiencia y precisión.
- La integración de la recepción con compras, transporte, almacenamiento y finanzas es esencial para una operación fluida y una gestión de inventarios confiable.
- Los indicadores clave (tiempo de descarga, precisión de recepción, tasa de rechazo, productividad de put-away, tiempo en cuarentena) permiten monitorear y mejorar continuamente el proceso.

Preguntas de reflexión para el estudiante

1. ¿Por qué la programación de citas es especialmente crítica en centros de distribución con alta estacionalidad (ej. juguetes en noviembre-diciembre)? ¿Qué ocurre si no se programa adecuadamente?

2. Un centro de distribución recibe un camión con 40 pallets de productos perecederos (temperatura controlada). ¿Qué precauciones especiales deben tomarse en la descarga, verificación y put-away en comparación con productos no perecederos?

3. ¿En qué situaciones sería preferible una política de ubicación fija sobre una aleatoria? ¿Y viceversa?

4. Explique cómo un error en el put-away (colocar un SKU en la ubicación equivocada) puede afectar la precisión del picking y la satisfacción del cliente, incluso si el inventario total es correcto.

5. Diseñe un procedimiento de control de calidad por muestreo para una empresa que recibe 10 000 unidades de un producto electrónico de alto valor. ¿Qué nivel de inspección (AQL) propondría y por qué?

6. ¿Cómo afecta la implementación de un sistema de cross-docking a los procesos de recepción? ¿Qué cambios se requerirían en la verificación y el put-away?

7. Calcule la productividad de put-away para un operador que en 8 horas ubicó 240 pallets. ¿Es este un buen desempeño? ¿Qué factores podrían mejorarlo?

Capítulo 9

Almacenamiento y reubicación: Políticas de ubicación (aleatoria, fija, mixta), optimización de espacio y rotación de inventarios (PEPS, UEPS, FEFO)

1. Introducción al almacenamiento y la reubicación

Una vez que los productos han sido recibidos, verificados y aceptados, el siguiente paso en el flujo operativo de un centro de distribución es su almacenamiento en ubicaciones definitivas dentro de la instalación. Sin embargo, el almacenamiento no es un proceso estático. A medida que los inventarios entran y salen, las ubicaciones se vacían, se llenan nuevamente y, en muchos casos, es necesario reubicar productos para mantener la eficiencia operativa.

El almacenamiento y la reubicación son procesos que determinan en gran medida la productividad del centro de distribución, especialmente en la etapa de preparación de pedidos (picking). Un producto mal ubicado puede generar recorridos innecesarios de cientos de metros cada día, acumulando horas de trabajo improductivo a lo largo del año. Por el contrario, una estrategia de ubicación bien diseñada reduce los tiempos de acceso, maximiza el uso del espacio y facilita la rotación adecuada de los inventarios.

Este tema aborda tres aspectos fundamentales del almacenamiento y la reubicación. En primer lugar, se analizan las políticas de ubicación (aleatoria, fija y mixta), sus fundamentos, ventajas, desventajas y aplicaciones típicas. En segundo lugar, se presentan las estrategias para la optimización del espacio, incluyendo el uso de sistemas de almacenamiento adecuados, la gestión de alturas y la consolidación de espacios vacíos. En tercer lugar, se examinan los métodos de rotación de inventarios (PEPS, UEPS, FEFO), su importancia para la gestión de caducidades y su integración con las políticas de ubicación.

2. Políticas de ubicación

La política de ubicación (también llamada estrategia de asignación de almacenamiento) define el criterio mediante el cual se determina dónde colocar cada SKU dentro del centro de distribución. Esta decisión afecta la utilización del espacio, la productividad del picking y la precisión del inventario.

2.1 Ubicación fija (dedicada o fija)

2.1.1 Definición y características

En la ubicación fija (también llamada dedicada o fixed location), cada SKU tiene una o varias ubicaciones permanentes y exclusivas dentro del almacén. Estas ubicaciones están reservadas para ese SKU independientemente de si hay inventario presente o no. Cuando el SKU se agota, la ubicación permanece vacía hasta que llega un nuevo lote del mismo producto.

Características distintivas:

Atributo	Descripción
Asignación	Cada SKU tiene ubicaciones predefinidas (ej. SKU A siempre en rack 5, nivel 2, posición 3)
Exclusividad	Ningún otro SKU puede ocupar esa ubicación, aunque esté vacía
Conocimiento por operadores	Con el tiempo, los operadores aprenden las ubicaciones de memoria, reduciendo la dependencia del sistema
Requerimiento de sistema	Bajo (puede operarse con listas en papel o sistemas simples)
Flexibilidad	Baja (cambiar la asignación requiere rediseño físico)

2.1.2 Ventajas de la ubicación fija

Ventaja	Explicación
Simplicidad operativa	Los operadores aprenden las ubicaciones de los SKU de alta rotación, reduciendo el tiempo de búsqueda.
Bajo requerimiento tecnológico	Puede funcionar incluso sin WMS, usando planos impresos o etiquetas en las estanterías.
Previsibilidad	Se sabe exactamente dónde está cada SKU, facilitando la planificación de rutas de picking.
Control visual	Es fácil detectar visualmente si un SKU está agotado (su ubicación está vacía).
Ideal para SKU de alta rotación	Para productos clase A que siempre tienen inventario, la ubicación fija es eficiente.

2.1.3 Desventajas de la ubicación fija

Desventaja	Explicación
Baja utilización del espacio	Cuando un SKU se agota, su espacio queda vacío y no puede ser usado por otros productos, desperdiciando capacidad.
Requiere más espacio total	Para un mismo conjunto de SKU, la ubicación fija necesita entre un 30 % y un 50 % más de espacio que la ubicación aleatoria.
Rigidez	Si un SKU aumenta su nivel de inventario (ej. promoción), no puede ocupar espacio adicional más allá de sus ubicaciones asignadas.
Necesidad de reasignación periódica	Los perfiles de rotación cambian con el tiempo; las ubicaciones fijas deben rediseñarse periódicamente (ej. cada 6-12 meses).
Ideal para SKU de alta rotación	Para productos clase A que siempre tienen inventario, la ubicación fija es eficiente.

2.1.4 Aplicaciones típicas de la ubicación fija

- SKU de muy alta rotación (clase A) donde el inventario nunca se agota completamente.
- Centros de distribución pequeños (menos de 1000 SKU) donde la complejidad de un WMS no se justifica.
- Almacenes con sistemas de almacenamiento muy específicos (ej. cantilever para productos largos).
- Operaciones donde los operadores no tienen terminales RF y trabajan con listas en papel.

2.2 Ubicación aleatoria (caótica o aleatoria)

2.2.1 Definición y características

En la ubicación aleatoria (también llamada caótica, random storage o floating location), los productos se colocan en cualquier ubicación disponible en el momento de la recepción. No hay ubicaciones preasignadas por SKU. El sistema WMS registra dónde se ha colocado cada producto, y cuando se necesita para un pedido, el sistema indica al operador la ubicación exacta.

Características distintivas:

Atributo	Descripción
Asignación	El WMS decide la ubicación al momento del put-away, basado en espacio disponible y criterios de optimización
Exclusividad	Temporal: una ubicación puede contener diferentes SKU en diferentes momentos, pero solo uno a la vez
Conocimiento por operadores	Los operadores no pueden memorizar ubicaciones; dependen totalmente del sistema
Requerimiento de sistema	Alto (WMS robusto con actualización en tiempo real)
Flexibilidad	Alta (se adapta dinámicamente a cambios en inventario)

2.2.2 Ventajas de la ubicación aleatoria

Ventaja	Explicación
Máxima utilización del espacio	No hay espacios vacíos reservados para SKU agotados. Cada metro cuadrado se usa mientras haya inventario.
Menor espacio requerido	Para el mismo volumen de inventario, la ubicación aleatoria necesita entre un 30 % y un 50 % menos de espacio que la fija.
Adaptabilidad	Los SKU pueden aumentar o disminuir su inventario sin necesidad de reasignar ubicaciones fijas.
Facilidad para SKU estacionales	Los productos de temporada ocupan espacio solo cuando están presentes; no se reserva espacio durante el resto del año.
Balanceo de carga	El WMS puede distribuir los productos entre diferentes zonas para equilibrar la actividad de picking.

2.2.3 Desventajas de la ubicación aleatoria

Desventaja	Explicación
Alta dependencia del WMS	Si el sistema falla, los operadores no saben dónde están los productos.
Mayor tiempo de búsqueda sin sistema	Sin terminal RF, encontrar un producto es prácticamente imposible.
Posibles recorridos largos	Sin optimización, un SKU podría quedar en una ubicación muy alejada, aumentando los tiempos de picking.

Desventaja	Explicación
Requiere etiquetado de ubicaciones	Cada estantería, nivel y posición debe tener un código de barras único y legible.
Mayor necesidad de conteos cíclicos	La aleatoriedad aumenta el riesgo de errores de inventario si no se audita frecuentemente.

2.2.4 Aplicaciones típicas de la ubicación aleatoria

- Centros de distribución con alta variedad de SKU (miles o decenas de miles).
- Operaciones de e-commerce con alta rotación y muchos SKU estacionales.
- Almacenes donde el espacio es caro o limitado (ej. centros urbanos).
- Operaciones con WMS robusto y personal capacitado en su uso.

2.3 Ubicación mixta (zonificada o híbrida)

2.3.1 Definición y características

La ubicación mixta (también llamada zonificada, clasificada o hybrid storage) combina elementos de la ubicación fija y la aleatoria. El almacén se divide en zonas según criterios predefinidos (rotación, tamaño, tipo de producto, temperatura, etc.). Dentro de cada zona, se aplica una política de ubicación específica, generalmente aleatoria.

Características distintivas:

Atributo	Descripción
Zonificación	El almacén se divide en áreas con propósitos definidos (ej. zona A para SKU de alta rotación, zona C para baja rotación)
Asignación por zona	Cada SKU se asigna a una zona según sus características (ej. todos los SKU clase A van a la zona de picking rápido)
Ubicación dentro de la zona	Aleatoria: el WMS decide la ubicación específica dentro de la zona basado en espacio disponible
Requerimiento de sistema	Medio-alto (WMS con capacidad de zonificación y optimización intra-zona)

2.3.2 Ventajas de la ubicación mixta

Ventaja	Explicación
Balance entre eficiencia de espacio y accesibilidad	Los SKU de alta rotación están cerca de las áreas de salida (reduciendo recorridos), mientras se mantiene la densidad de la ubicación aleatoria.
Menor distancia de picking	Al agrupar SKU por rotación, los productos más pedidos están más cerca.
Flexibilidad controlada	Dentro de cada zona, la aleatoriedad permite adaptarse a cambios, pero los SKU no “migran” a zonas inadecuadas.
Mejor uso de diferentes tecnologías	Las zonas de alta rotación pueden usar estanterías selectivas; las de baja rotación, sistemas compactos.
Facilidad para manejar requerimientos especiales	Productos congelados, peligrosos o de alto valor tienen zonas segregadas.

2.3.3 Desventajas de la ubicación mixta

Desventaja	Explicación
Mayor complejidad de diseño	Definir las zonas y los criterios de asignación requiere análisis detallado de SKU y demanda.
Necesidad de re zonificación periódica	Los perfiles de rotación cambian; las zonas deben rediseñarse cada cierto tiempo (ej. anualmente).
Posibles zonas subutilizadas	Si la demanda cambia, una zona diseñada para alta rotación puede quedar infrautilizada.
Requiere WMS con capacidades avanzadas	No todos los WMS manejan bien la zonificación dinámica.

2.3.4 Criterios comunes para la zonificación

Criterio de zonificación	Ejemplo de zona	Política de ubicación dentro de la zona
Rotación (ABC)	Zona A (80 % del movimiento)	Ubicaciones aleatorias en estanterías selectivas cerca del picking
Rotación (ABC)	Zona B (15 % del movimiento)	Ubicaciones aleatorias en estanterías de doble profundidad
Rotación (ABC)	Zona C (5 % del movimiento)	Ubicaciones aleatorias en sistemas compactos (push-back, drive-in)

Criterio de zonificación	Ejemplo de zona	Política de ubicación dentro de la zona
Temperatura	Zona refrigerada (2-8 °C)	Ubicación fija o aleatoria según rotación, pero con control de temperatura
Tamaño del producto	Zona de productos pequeños (cajas < 30 cm)	Estanterías para cajas (shelf racks) con ubicación aleatoria
Tamaño del producto	Zona de productos largos (> 2 m)	Estanterías cantilever con ubicación fija
Valor del producto	Zona de alto valor (ej. electrónicos, joyas)	Ubicación fija con acceso restringido y video-vigilancia

2.3.5 Aplicaciones típicas de la ubicación mixta

- Centros de distribución de tamaño mediano a grande (más de 5000 SKU).
- Operaciones con diferentes tipos de productos (alimentos, electrónica, textil, etc.).
- Centros de distribución omnicanal (atienden B2B y B2C con diferentes requerimientos).
- Cualquier operación que busque un equilibrio entre eficiencia de espacio y productividad de picking.

2.4 Tabla comparativa de políticas de ubicación

Criterio	Ubicación fija	Ubicación aleatoria	Ubicación mixta
Utilización del espacio	Baja (30-50 % desperdicio)	Máxima (95 %+)	Alta (85-95 %)
Requerimiento de WMS	Bajo (puede ser manual)	Alto (WMS indispensable)	Medio-alto (WMS con zonificación)
Tiempo de picking (con WMS)	Medio	Bajo (si está optimizado)	Muy bajo (por cercanía de clase A)
Tiempo de picking (sin WMS)	Bajo (operadores memorizan)	Imposible	Imposible (sin WMS)
Flexibilidad a cambios de demanda	Baja	Alta	Media

Criterio	Ubicación fija	Ubicación aleatoria	Ubicación mixta
Facilidad de conteo cíclico	Alta (ubicaciones predecibles)	Media (requiere sistema)	Media-alta
Inversión en capacitación	Baja	Media	Media
Aplicación típica	SKU clase A, almacenes pequeños	E-commerce, alta variedad	Mayoría de CE-DIS modernos

3. Optimización del espacio de almacenamiento

La optimización del espacio es el proceso de maximizar la cantidad de productos que pueden almacenarse en un área determinada, sin sacrificar la accesibilidad, la seguridad ni la productividad. Un espacio bien optimizado reduce los costos de construcción o renta, permite manejar mayores volúmenes sin ampliar la instalación, y mejora la eficiencia operativa.

3.1 Dimensiones de la optimización del espacio

La optimización del espacio tiene tres dimensiones principales:

Dimensión	Descripción	Estrategias
Optimización horizontal	Uso eficiente de los metros cuadrados de piso	Reducción de anchos de pasillo, uso de sistemas compactos, eliminación de áreas muertas
Optimización vertical	Aprovechamiento de la altura del edificio	Estanterías de mayor altura, sistemas AS/RS, mezzanines
Optimización volumétrica	Uso eficiente del espacio dentro de las estanterías	Ajuste de alturas de niveles, reducción de espacios vacíos entre productos

3.2 Estrategias para la optimización horizontal

Estrategia	Descripción	Ahorro estimado de espacio
Reducción de ancho de pasillos	Usar montacargas de pasillo estrecho (reach truck) en lugar de contrarrestiles	20-30 %
Implementación de sistemas compactos	Reemplazar estanterías selectivas por push-back o drive-in en zonas de baja rotación	40-60 %

Estrategia	Descripción	Ahorro estimado de espacio
Eliminación de pasillos redundantes	Diseñar layout con pasillos compartidos (doble cara) en lugar de pasillos individuales	15-25 %
Uso de estanterías móviles	Estanterías montadas sobre rieles que se desplazan para abrir un solo pasillo a la vez	50-70 % (pero baja accesibilidad)
Aprovechamiento de esquinas y espacios irregulares	Ubicar productos de baja rotación o áreas administrativas en espacios no rectangulares	Variable

3.3 Estrategias para la optimización vertical

Estrategia	Descripción	Consideraciones
Aumento de altura de estanterías	Instalar racks de 9-12 metros en lugar de 4-6 metros	Requiere montacargas de más-til alto; mayor inversión
Uso de mezzanines	Plataformas intermedias que crean un segundo nivel de almacenamiento o picking	Ideal para productos ligeros; requiere estructura adicional
Almacenamiento en doble altura	Apilar productos sobre otros (solo si son apilables y estables)	Riesgo de daños; limitado por altura máxima de apilado
Sistemas AS/RS	Transelevadores que alcanzan alturas de 15-40 metros	Alta inversión; máxima densidad vertical
Ajuste de niveles de estanterías	Configurar alturas de niveles según las alturas de los productos, sin desperdiciar espacio vertical	Requiere análisis de perfiles de altura de SKU

3.4 Estrategias para la optimización volumétrica

Estrategia	Descripción	Aplicación
Slotting optimizado	Asignar productos a ubicaciones cuyo tamaño se ajuste a sus dimensiones (evitar un producto pequeño en una ubicación grande)	Todos los SKU
Consolidación de espacios	Reubicar productos de ubicaciones parcialmente llenas en una sola ubicación, liberando espacio	Periódicamente (ej. semanal)
Uso de contenedores estandarizados	Utilizar cajas o bandejas de tamaños estándar que se ajusten perfectamente a las estanterías	Productos pequeños (e-commerce, farmacia)

Estrategia	Descripción	Aplicación
Reducción de inventario de seguridad	Ajustar niveles de inventario con mejoras en pronósticos y tiempos de reabastecimiento	SKU con alta rotación

3.5 Indicadores de optimización del espacio

Indicador	Fórmula	Interpretación
Densidad de almacenamiento	$(\text{Unidades almacenadas}) / (\text{Metros cuadrados de almacenamiento})$	Mayor es mejor; depende del tipo de producto
Utilización de altura	$(\text{Altura promedio ocupada}) / (\text{Altura útil disponible}) \times 100$	Ideal >80 %; <60 % indica desperdicio vertical
Tasa de ocupación de ubicaciones	$(\text{Ubicaciones ocupadas}) / (\text{Ubicaciones totales}) \times 100$	Ideal 85-90 %; >95 % riesgo de saturación
Ratio de espacio desperdiciado	$(\text{Espacio vacío no utilizable}) / (\text{Espacio total}) \times 100$	Debe ser <15 % en almacenes bien diseñados

4. Rotación de inventarios: PEPS, UEPS y FEFO

La rotación de inventarios se refiere al orden en que los productos son extraídos del almacén para ser enviados a los clientes o a los procesos de producción. La política de rotación define qué lote o unidad sale primero cuando hay múltiples unidades del mismo SKU con diferentes fechas de ingreso o de caducidad.

4.1 PEPS (Primeras Entradas, Primeras Salidas) / FIFO (First In, First Out)

4.1.1 Definición y propósito

El método PEPS (o FIFO, por sus siglas en inglés First In, First Out) establece que los productos que ingresaron primero al almacén deben ser los primeros en salir. Este método es obligatorio o altamente recomendado para productos con fecha de caducidad (alimentos, medicamentos, cosméticos) y para aquellos que pueden deteriorarse con el tiempo (químicos, baterías, adhesivos).

Propósito: Minimizar el riesgo de que los productos caduquen o se deterioren en el almacén, asegurando que los lotes más antiguos se despachen antes que los más nuevos.

4.1.2 Implementación del PEPS

Método de implementación	Descripción	Ventajas	Desventajas
Ubicación por fecha	Los lotes más antiguos se colocan en posiciones delanteras; los más nuevos, en posiciones traseras (en la misma ubicación o en ubicaciones separadas).	Sencillo conceptualmente	Requiere disciplina en el put-away
Ubicaciones separadas por lote	Cada lote (fecha de ingreso) tiene su propia ubicación. El WMS indica cuál ubicación debe ser picking primero.	Control preciso por lote	Mayor consumo de espacio
Sistemas flow rack (gravedad)	Las estanterías tienen inclinación; se carga por detrás y el producto avanza hacia el frente por gravedad, asegurando FIFO natural.	Automático, sin intervención del WMS	Mayor costo de inversión; solo para cajas o unidades pequeñas
Gestión por WMS con fechas	El WMS registra la fecha de ingreso de cada lote y dirige el picking al lote más antiguo disponible.	Flexible, no requiere disposición física especial	Requiere WMS robusto y precisión en el registro

4.1.3 Aplicaciones típicas del PEPS

- Alimentos y bebidas (especialmente perecederos).
- Productos farmacéuticos y de cuidado personal.
- Productos químicos con fecha de caducidad.
- Cualquier producto donde la antigüedad afecte la calidad o la seguridad.

4.2 UEPS (Últimas Entradas, Primeras Salidas) / LIFO (Last In, First Out)

4.2.1 Definición y propósito

El método UEPS (o LIFO, por sus siglas en inglés Last In, First Out) establece que los productos que ingresaron más recientemente son los primeros en salir. Este método es menos común en la gestión física de almacenes, pero tiene aplicaciones específicas y es relevante en contextos financieros y contables.

Propósito físico: Para productos que no caducan y donde el acceso al lote más nuevo es más fácil o conveniente (ej. productos apilados donde el último en apilar es el primero en desapilar).

Propósito contable: En algunos países, el método LIFO está permitido para la valoración de inventarios, asumiendo que los últimos productos comprados (a precios más recientes) son los primeros en venderse, lo que puede tener ventajas fiscales en contextos inflacionarios.

4.2.2 Implementación del UEPS

Método de implementación	Descripción	Aplicación
Apilamiento simple	Los productos se apilan unos sobre otros; el último en apilarse (arriba) es el primero en retirarse.	Materiales de construcción, graneles, productos apilables
Sistemas drive-in	El montacargas ingresa al túnel y coloca los pallets en profundidad; el último colocado (el más cercano al pasillo) es el primero en salir.	Productos de baja rotación, grandes volúmenes del mismo SKU
Sistemas push-back	El nuevo pallet empuja a los anteriores hacia atrás; el primero en salir es el último colocado (el del frente).	Productos de rotación media con LIFO deliberado

4.2.3 Aplicaciones típicas del UEPS

- Productos que no caducan y donde la antigüedad no afecta la calidad (ej. arena, grava, carbón, algunos metales).
- Almacenes donde el espacio es muy limitado y la densidad es prioritaria sobre la rotación FIFO.
- Contextos contables específicos (valoración de inventarios), aunque físicamente se opere con FIFO o FEFO.

4.2.4 Advertencia sobre UEPS en productos perecederos

El uso de UEPS para productos con fecha de caducidad es peligroso y no recomendado, ya que los productos más antiguos quedarían rezagados en el fondo o en la parte inferior de la pila, aumentando el riesgo de que caduquen antes de ser despachados. En la mayoría de las industrias, los estándares de calidad exigen FIFO o FEFO para productos perecederos.

4.3 FEFO (Primeras Fechas de Caducidad, Primeras Salidas) / FEFO (First Expired, First Out)

4.3.1 Definición y propósito

El método FEFO (o First Expired, First Out) es una evolución del PEPS que prioriza la fecha de caducidad sobre la fecha de ingreso. En lugar de que salga primero el producto que entró primero, sale primero el producto cuya fecha de caducidad es más cercana, independientemente de cuándo ingresó.

Este método es crítico en industrias donde la vida útil de los productos varía significativamente, incluso dentro del mismo SKU (ej. diferentes lotes de producción con diferentes fechas de caducidad).

Propósito: Minimizar las pérdidas por productos caducados, asegurando que los lotes con vencimiento más cercano se despachen antes, incluso si llegaron al almacén después que otros lotes con vencimiento más lejano.

4.3.2 Diferencia entre PEPS y FEFO

Aspecto	PEPS (FIFO)	FEFO (First Expired, First Out)
Criterio de prioridad	Fecha de ingreso al almacén	Fecha de caducidad
Ejemplo	Lote A entró el 1 de enero (caduca 30 de junio). Lote B entró el 1 de febrero (caduca 31 de mayo). PEPS sacaría primero el lote A (entró antes).	FEFO sacaría primero el lote B (caduca antes, el 31 de mayo vs 30 de junio).
Riesgo de caducidad	Puede dejar productos con caducidad cercana si entraron después	Mínimo (prioriza siempre el que caduca primero)
Complejidad operativa	Media (requiere control de fechas de ingreso)	Alta (requiere control de fechas de caducidad y algoritmo de selección)
Requerimiento de WMS	Básico (registro de fecha de ingreso)	Avanzado (registro de fecha de caducidad por lote, gestión de lotes)

4.3.3 Implementación del FEFO

La implementación de FEFO requiere:

- 1. Registro de fecha de caducidad por lote:** Cada lote que ingresa debe tener su fecha de caducidad registrada en el WMS.
- 2. Almacenamiento segregado por lote:** Los lotes con diferentes fechas de caducidad deben almacenarse en ubicaciones separadas o claramente diferenciadas.
- 3. Lógica de selección en el WMS:** Al momento del picking, el sistema debe consultar qué lote tiene la fecha de caducidad más cercana (sin haber caducado aún) y dirigir al operador a esa ubicación.
- 4. Control de caducidades:** El WMS debe generar alertas cuando un lote se acerca a su fecha de caducidad (ej. 30 días antes, 15 días antes, 7 días antes).

4.3.4 Aplicaciones típicas del FEFO

- Industria farmacéutica (diferentes lotes de medicamentos con diferentes fechas de caducidad).

- Industria alimenticia (lácteos, carnes, productos frescos, conservas con diferentes vencimientos).
- Cosmética y productos de cuidado personal (protectores solares, cremas con vida útil limitada).
- Productos químicos con estabilidad limitada (adhesivos, pinturas, resinas).

4.3.5 Ejemplo comparativo PEPS vs FEFO

Situación: Un almacén tiene dos lotes del mismo SKU (yogur):

Lote	Fecha de ingreso	Fecha de caducidad	Unidades
Lote 1	1 de marzo	30 de abril	1000
Lote 2	1 de abril	15 de mayo	1000

Con PEPS: El sistema despacharía primero el Lote 1 (ingresó antes), aunque caduca el 30 de abril. El Lote 2 (caduca el 15 de mayo) quedaría para después. Si la demanda es alta, ambos se venderán a tiempo. Si la demanda es baja, el Lote 2 podría caducar después del 15 de mayo, pero eso no es problema.

Con FEFO: El sistema despacharía primero el Lote 1 (caduca el 30 de abril, antes que el 15 de mayo). Es el mismo resultado en este caso porque el lote más antiguo también caduca antes. Pero si el Lote 2 caducara el 20 de abril (antes que el Lote 1), FEFO despacharía primero el Lote 2, mientras que PEPS seguiría despachando el Lote 1. FEFO protege contra situaciones donde un lote más nuevo tiene una caducidad más cercana.

4.4 Tabla comparativa de métodos de rotación

Criterio	PEPS (FIFO)	UEPS (LIFO)	FEFO
Criterio de prioridad	Fecha de ingreso (más antigua)	Fecha de ingreso (más reciente)	Fecha de caducidad (más cercana)
Aplicación principal	Productos perecederos, estándar de calidad	Productos no perecederos, apilamiento simple	Productos con fechas de caducidad variables
Riesgo de caducidad	Bajo (si la caducidad correlaciona con ingreso)	Alto (no recomendado para perecederos)	Muy bajo (óptimo)

Criterio	PEPS (FIFO)	UEPS (LIFO)	FEFO
Complejidad operativa	Media	Baja	Alta
Requerimiento de WMS	Básico (fecha de ingreso)	Básico (ninguno, por disposición física)	Avanzado (fecha de caducidad por lote)
Necesidad de segregación por lote	Opcional	Generalmente no	Sí (obligatorio)

5. Reubicación de inventarios

La reubicación (o relocation) es el proceso de mover productos de una ubicación de almacenamiento a otra sin que medie un pedido de venta o una recepción. Las reubicaciones se realizan por razones operativas, como mejorar la eficiencia del picking, consolidar espacios vacíos o ajustarse a cambios en los perfiles de demanda.

5.1 Tipos de reubicación

Tipo	Descripción	Frecuencia típica
Reubicación por slotting	Mover productos para acercar los de alta rotación a las áreas de picking y alejar los de baja rotación.	Periódica (cada 3-6 meses)
Consolidación de espacios	Reubicar productos de ubicaciones parcialmente llenas en una sola ubicación para liberar espacio.	Semanal o quincenal
Reubicación por caducidad	Mover lotes con caducidad cercana a ubicaciones más accesibles para facilitar su despacho prioritario.	Diaria o semanal (según el producto)
Reubicación por cambios de estacionalidad	Preparar el almacén para una temporada alta (ej. acercar juguetes antes de navidad).	Estacional (cada 3-6 meses)
Reubicación por corrección de errores	Mover productos que fueron colocados erróneamente en ubicaciones incorrectas.	Según necesidad (cuando se detecta el error)

5.2 Proceso de reubicación

1. **Identificación de necesidad:** El WMS o el supervisor detecta una oportunidad de mejora (ej. un SKU clase A que está en una ubicación remota).
2. **Planificación:** Se define qué productos mover, a qué nuevas ubicaciones y en qué orden.
3. **Generación de tareas de reubicación:** El WMS crea tareas específicas para los operadores.
4. **Ejecución:** Los operadores retiran los productos de sus ubicaciones actuales y los depositan en las nuevas, escaneando ambos códigos de ubicación.
5. **Actualización del WMS:** El sistema registra las nuevas ubicaciones y libera las antiguas.
6. **Verificación:** Opcionalmente, se realiza un conteo cíclico para confirmar que la reubicación se completó correctamente.

5.3 Mejores prácticas en reubicación

- Realizar reubicaciones en horarios de baja actividad (ej. noche o fines de semana) para no interferir con el picking.
- Automatizar la decisión de reubicación mediante algoritmos de slotting que ejecutan el WMS.
- Medir el impacto de las reubicaciones en la productividad del picking (distancia recorrida, tiempo por línea).
- Evitar reubicaciones excesivas que generen más trabajo del que ahorran.

6. Integración de políticas de ubicación, optimización de espacio y rotación de inventarios

Estos tres conceptos no operan de manera independiente. Un centro de distribución eficiente integra:

- Política de ubicación (fija, aleatoria o mixta) como marco general.
- Optimización de espacio como objetivo transversal (maximizar densidad sin sacrificar accesibilidad).
- Rotación de inventarios (PEPS, UEPS o FEFO) como regla para el orden de extracción.

La siguiente tabla muestra cómo se integran en diferentes escenarios:

Escenario	Política de ubicación recomendada	Estrategia de optimización de espacio	Método de rotación	Justificación
Supermercado (productos perecederos)	Mixta (alta rotación cerca del picking, baja rotación en zonas alejadas)	Estanterías selectivas + sistemas flow rack para FIFO natural	PEPS o FEFO (por caducidad)	Los productos perecederos requieren rotación rápida y control de fechas.
E-commerce (alta variedad, productos no perecederos)	Aleatoria (zonificada por tamaño/rotación)	Sistemas de alta densidad (miniload, AMR, estanterías móviles)	PEPS (por simplicidad, si no hay caducidad)	La prioridad es maximizar espacio y velocidad de picking; la caducidad no es problema.
Farmacéutica (medicamentos con lotes y caducidades)	Mixta con segregación por lote	Estanterías selectivas con control de temperatura	FEFO estricto (por lote y fecha de caducidad)	La seguridad del paciente exige que los medicamentos más cercanos a caducar salgan primero.
Materiales de construcción (productos pesados, apilables)	Fija (por tipo de producto)	Apilamiento directo en piso (sin estanterías) + sistemas drive-in	UEPS (natural por apilamiento)	El espacio es abundante; la prioridad es la estabilidad del apilamiento.

7. Ejemplo integrado

Enunciado: Una empresa de distribución de alimentos no perecederos (enlatados, pastas, aceites) tiene un centro de distribución de 5000 m² con 2500 SKU. El 20 % de los SKU genera el 70 % del movimiento (clase A). El 30 % genera el 20 % (clase B). El 50 % genera el 10 % (clase C). Los productos tienen fecha de caducidad entre 6 y 24 meses. La empresa actualmente usa ubicación fija con PEPS manual (por etiquetado de fechas), pero tiene problemas de espacio y errores en la rotación.

Propuesta de mejora:

1. Cambiar a política de ubicación mixta:

- **Zona A (clase A):** 20 % de los SKU, 500 m² cerca del picking. Ubicación aleatoria dentro de la zona.

- **Zona B (clase B):** 30 % de los SKU, 1,000 m² en zona intermedia. Ubicación aleatoria.
- **Zona C (clase C):** 50 % de los SKU, 2,000 m² en zona trasera. Ubicación aleatoria con sistemas compactos (push-back).

2. Implementar FEFO con WMS:

- Registrar fecha de caducidad de cada lote al momento de la recepción.
- El WMS asigna ubicaciones y, al momento del picking, dirige al operador al lote con la fecha de caducidad más cercana (sin caducar).

3. Optimización de espacio:

- Aumentar altura de estanterías en zona A de 6 m a 9 m.
- Implementar push-back en zona C (densidad +50 %).
- Realizar consolidación de espacios semanalmente.

Resultados esperados:

- Reducción del espacio requerido en 25 % (liberando 1,250 m² para crecimiento).
- Reducción de mermas por caducidad del 3 % al 0.5 %.
- Incremento de productividad de picking del 20 % (menos distancia recorrida para SKU clase A).

8. Resumen del tema

- Las políticas de ubicación definen dónde se colocan los productos en el almacén. La ubicación fija es simple, pero desperdicia espacio; la ubicación aleatoria maximiza el espacio, pero requiere WMS robusto; la ubicación mixta combina lo mejor de ambas mediante zonificación.
- La optimización del espacio actúa en tres dimensiones: horizontal (reducción de pasillos, sistemas compactos), vertical (aprovechamiento de altura) y volumétrica (ajuste de niveles, consolidación).
- La rotación de inventarios define el orden de extracción: PEPS (sale primero el que entró primero), UEPS (sale primero el que entró último) y FEFO (sale primero el que caduca primero). FEFO es superior para productos con fechas de caducidad variables.
- La reubicación es el proceso de mover productos entre ubicaciones para mantener la eficiencia operativa a lo largo del tiempo.
- La integración de estos tres conceptos permite diseñar un sistema de

almacenamiento que equilibre densidad, accesibilidad, control de caducidades y productividad del picking.

Preguntas de reflexión para el estudiante

1. ¿En qué tipo de operación (volumen de SKU, rotación, tipo de producto) la ubicación fija es claramente superior a la aleatoria? ¿Y viceversa?

2. Explique por qué la ubicación aleatoria requiere un WMS robusto mientras que la fija puede operar con sistemas más simples. ¿Qué riesgos se corren al usar ubicación aleatoria sin WMS?

3. Una empresa de lácteos tiene productos con vida útil de 7 días. ¿Qué método de rotación debe usar obligatoriamente? ¿Por qué PEPS no es suficiente y se requiere FEFO?

4. ¿Cómo afecta la implementación de un sistema FEFO al diseño del layout y a la política de ubicación? ¿Se puede tener FEFO con ubicación aleatoria?

5. Proponga una estrategia de zonificación (ubicación mixta) para un centro de distribución que maneja tres tipos de productos: electrónicos de alto valor (clase A), juguetes estacionales (clase B) y útiles escolares de baja rotación (clase C).

6. Calcule la densidad de almacenamiento (unidades por m^2) para un área de $500 m^2$ que almacena 10 000 cajas de $0.1 m^3$ cada una, utilizando: a) estanterías selectivas con pasillos anchos (factor de espacio 0.4), b) push-back (factor 0.7). ¿Cuál es la diferencia en capacidad?

7. ¿En qué situaciones una empresa podría optar por UEPS (LIFO) a pesar de las desventajas para el control de caducidades? Mencione al menos dos ejemplos concretos.

Capítulo 10

**Preparación de pedidos (picking):
Metodologías (por orden, por lote, por
zona, wave picking), tecnologías asociadas
(voice picking, pick-to-light, RF, pick-by-
vision)**

1. Introducción a la preparación de pedidos (picking)

La preparación de pedidos, conocida comúnmente como picking, es el proceso de extraer productos de sus ubicaciones de almacenamiento para conformar los pedidos de los clientes. Este proceso constituye el corazón operativo de cualquier centro de distribución, pues es donde se materializa la promesa de entregar los productos correctos, en las cantidades correctas y en las condiciones correctas.

El picking es, simultáneamente, el proceso de mayor intensidad de mano de obra y el de mayor impacto en la productividad y el costo operativo de un centro de distribución. En operaciones típicas de retail o e-commerce, el picking puede representar entre el 50 % y el 70 % del costo operativo total del almacén. Por esta razón, incluso pequeñas mejoras en la eficiencia del picking generan retornos significativos.

La complejidad del picking radica en la necesidad de equilibrar múltiples objetivos: minimizar la distancia recorrida por los operadores, maximizar la precisión (evitar errores de producto o cantidad), reducir el tiempo de ciclo del pedido, adaptarse a la variabilidad de la demanda y gestionar la ergonomía y seguridad del personal.

Este tema desarrolla, en primer lugar, las metodologías de picking más utilizadas en la industria: picking por orden, por lote, por zona y wave picking. Cada metodología responde a diferentes perfiles de pedidos, volúmenes y configuraciones de almacenamiento. En segundo lugar, se presentan las tecnologías asociadas que aumentan la productividad y la precisión: voice picking, pick-to-light, terminales de radiofrecuencia (RF) y sistemas de visión asistida (pick-by-vision). Finalmente, se integran ambos aspectos en un marco de selección de la estrategia de picking más adecuada para cada tipo de operación.

2. Metodologías de picking

Las metodologías de picking definen cómo se organizan y ejecutan las tareas de extracción de productos. La elección de una metodología sobre

otra depende del perfil de los pedidos (número de líneas por pedido, unidades por línea, variabilidad), de la configuración del almacén (distribución de SKU, sistemas de almacenamiento) y de la tecnología disponible.

2.1 Picking por orden (*order picking*)

2.1.1 Definición y características

El picking por orden (también llamado *discrete picking* o *order picking*) es la metodología más simple y tradicional. En ella, un operador toma un pedido completo (una lista de productos) y recorre el almacén extrayendo todos los productos de ese pedido, uno por uno, hasta completarlo. Una vez finalizado, el pedido se envía a empaque o expedición, y el operador comienza con el siguiente pedido.

Características distintivas:

Atributo	Descripción
Unidad de trabajo	Un pedido completo
Recorrido del operador	Recorre todo el almacén (o la zona asignada) por cada pedido
Consolidación	No requiere consolidación posterior, ya que el operador reúne todos los productos del pedido
Equipamiento típico	Carrito de picking, transpaleta, terminal RF o lista en papel
Complejidad de gestión	Baja

2.1.2 Ventajas del *picking por orden*

Ventaja	Explicación
Simplicidad operativa	Fácil de entender y ejecutar; requiere poca capacitación.
Baja inversión tecnológica	Puede operarse con listas en papel y carritos simples.
Pedido completo al final del recorrido	No se necesita área de consolidación; el pedido está listo para empaque.
Ideal para pedidos grandes	Si cada pedido tiene muchas líneas, el recorrido por pedido es eficiente (se aprovecha el recorrido).
Complejidad de gestión	Baja

2.1.3 Desventajas del picking por orden

Desventaja	Explicación
Alta distancia recorrida	Si hay muchos pedidos pequeños, el operador recorre la misma ruta muchas veces (ineficiente).
Baja productividad en pedidos pequeños	Para pedidos de 1-2 líneas, la mayor parte del tiempo se gasta caminando, no extrayendo productos.
Congestión en pasillos	Múltiples operadores recorriendo las mismas rutas pueden estorbarse entre sí.
Difícil de balancear	Algunos pedidos pueden ser muy grandes y otros muy pequeños, generando tiempos de ciclo desiguales.
Complejidad de gestión	Baja

2.1.4 Aplicaciones típicas del picking por orden

- Centros de distribución con pedidos de tamaño grande (más de 20 líneas por pedido en promedio).
- Almacenes pequeños (menos de 2000 m²) donde las distancias son cortas.
- Operaciones con baja variabilidad y volumen moderado.
- Situaciones donde no se dispone de sistemas de información avanzados.

2.2 Picking por lote (batch picking)

2.2.1 Definición y características

El picking por lote (también llamado batch picking) consiste en agrupar varios pedidos en un lote y recolectar los productos de todos ellos en un solo recorrido. El operador extrae, para cada SKU, la cantidad total requerida por todos los pedidos del lote y luego, en una estación de clasificación (sorting), separa los productos por pedido individual.

Características distintivas:

Atributo	Descripción
Unidad de trabajo	Un lote de múltiples pedidos (típicamente 4 a 12 pedidos por lote)
Recorrido del operador	Un solo recorrido por lote, recolectando cantidades agregadas por SKU

Atributo	Descripción
Consolidación	Requiere área de clasificación (<i>sorting</i>) para separar los productos por pedido después del <i>picking</i>
Equipamiento típico	Carrito con múltiples contenedores (uno por pedido del lote), terminal RF, estación de clasificación
Complejidad de gestión	Media

2.2.2 Ventajas del *picking* por lote

Ventaja	Explicación
Reducción de distancia recorrida	En lugar de recorrer el almacén N veces (N = número de pedidos), se recorre una sola vez por lote.
Alta productividad para pedidos pequeños	Ideal cuando muchos pedidos tienen pocas líneas (ej. e-commerce).
Aprovechamiento de economías de escala	El tiempo de preparación por pedido se reduce drásticamente.
Menor congestión	Menos operadores recorriendo los pasillos simultáneamente.

2.2.3 Desventajas del *picking* por lote

Desventaja	Explicación
Requiere clasificación posterior	Los productos recolectados deben separarse por pedido, lo que agrega un paso operativo y espacio.
Mayor complejidad de gestión	El sistema debe decidir el tamaño del lote y qué pedidos agrupar.
Riesgo de errores en clasificación	Si la clasificación es manual, se pueden mezclar productos entre pedidos.
Mayor inversión en equipos	Se necesitan carritos con múltiples contenedores y estaciones de clasificación.

2.2.4 Tamaño del lote

El tamaño óptimo del lote (número de pedidos por lote) depende de:

- **Tamaño promedio de los pedidos:** Si los pedidos son muy pequeños (1-2 líneas), se pueden agrupar muchos (10-20) en un lote. Si son medianos (5-10 líneas), lotes más pequeños (4-6).

- **Distancia de recorrido:** En almacenes grandes, convienen lotes más grandes para amortiguar la distancia recorrida.
- **Capacidad del carrito de picking:** El número de contenedores o compartimentos en el carrito limita el tamaño del lote.

2.2.5 Aplicaciones típicas del picking por lote

- Centros de fulfillment de e-commerce (muchos pedidos pequeños).
- Operaciones de retail donde las tiendas realizan pedidos de reposición con pocas líneas.
- Centros de distribución farmacéutica (pedidos de farmacias con pocos medicamentos).

2.3 Picking por zona (zone picking)

2.3.1 Definición y características

El picking por zona (también llamado zone picking) divide el almacén en zonas geográficas (ej. zona A, zona B, zona C). Cada operador es responsable exclusivamente de una zona. Cuando un pedido llega al sistema, cada zona extrae los productos que le corresponden y los envía a un área de consolidación, donde se reúnen los productos de todas las zonas para completar el pedido.

Características distintivas:

Atributo	Descripción
Unidad de trabajo	Un pedido, pero cada zona trabaja sobre una parte del pedido
Recorrido del operador	Limitado a su zona (no recorre todo el almacén)
Consolidación	Requiere área de consolidación donde se juntan los productos de todas las zonas
Equipamiento típico	Transportadores, bandejas o contenedores que pasan de zona en zona; terminales RF
Complejidad de gestión	Media-alta (requiere sincronización entre zonas)

2.3.2 Ventajas del *picking* por zona

Ventaja	Explicación
Reducción de distancia recorrida por operador	Cada operador se mueve solo dentro de su zona, que es más pequeña que el almacén completo.
Especialización	Los operadores conocen perfectamente los productos de su zona, aumentando la velocidad y precisión.
Escalabilidad	Se pueden agregar más zonas (y más operadores) a medida que crece el volumen.
Menor congestión	Los operadores trabajan en zonas separadas, sin interferencias.
Ideal para almacenes grandes	Cuando el almacén es muy extenso, recorrerlo completo por pedido es inviable.

2.3.3 Desventajas del *picking* por zona

Desventaja	Explicación
Requiere consolidación	Los productos de diferentes zonas deben reunirse para completar el pedido, lo que agrega un paso y espacio.
Desequilibrio de carga	Algunas zonas pueden tener más actividad que otras, generando cuellos de botella.
Pedidos atascados	Si una zona se retrasa, todo el pedido se retrasa (efecto de línea de ensamble).
Mayor inversión	Se requieren transportadores o sistemas de transferencia entre zonas.

2.3.4 Tipos de *picking* por zona

Tipo	Descripción	Aplicación
Secuencial	El pedido (o una bandeja) pasa de zona en zona en secuencia. Cada zona agrega sus productos.	Layout lineal o en U; productos que fluyen en una dirección.
Paralelo	Cada zona trabaja sobre su parte del pedido de manera independiente; los productos se consolidan al final.	Zonas que no tienen un orden secuencial; requiere transportador de retorno o consolidación central.
Sincronizado	El sistema coordina los tiempos de cada zona para que todos los componentes del pedido lleguen a consolidación al mismo tiempo.	Operaciones de alta velocidad (e-commerce, paquetería).

2.3.5 Aplicaciones típicas del picking por zona

- Centros de distribución muy grandes (más de 10 000 m²).
- Operaciones con alta variedad de productos que se agrupan naturalmente por tipo (ej. electrónicos en una zona, textiles en otra, alimentos en otra).
- Almacenes automatizados con transportadores que conectan diferentes zonas.

2.4 Wave picking (picking por oleadas)

2.4.1 Definición y características

El wave picking (o picking por oleadas) es una metodología que combina elementos del picking por lote y por zona. Los pedidos se agrupan en oleadas (waves) según criterios como la ruta de entrega, la prioridad del cliente o el transportista. Dentro de cada oleada, se aplica picking por lote o por zona según convenga, y todos los pedidos de la oleada se procesan y consolidan antes de pasar a la siguiente oleada.

Características distintivas:

Atributo	Descripción
Unidad de trabajo	Una oleada (conjunto de pedidos con características comunes)
Sincronización	Todos los pedidos de la oleada se completan antes de iniciar la siguiente oleada
Consolidación	Por oleada; los pedidos se consolidan y preparan para expedición en bloque
Equipamiento típico	WMS avanzado con planificación de oleadas, transportadores, clasificadores automáticos
Complejidad de gestión	Alta

2.4.2 Ventajas del wave picking

Ventaja	Explicación
Optimización de la expedición	Los pedidos de una misma oleada suelen ir al mismo transportista o ruta, facilitando la carga.
Priorización	Se pueden crear oleadas prioritarias (ej. pedidos express) y oleadas regulares.

Ventaja	Explicación
Balanceo de carga	El sistema puede distribuir la carga de trabajo entre zonas y operadores dentro de cada oleada.
Visibilidad del progreso	Es fácil saber qué porcentaje de la oleada se ha completado.

2.4.3 Desventajas del *wave picking*

Desventaja	Explicación
Alta complejidad de planificación	El sistema debe decidir el tamaño y composición de cada oleada, lo que requiere algoritmos sofisticados.
Riesgo de retraso de toda la oleada	Si un pedido se retrasa, toda la oleada puede atrasarse.
Requiere WMS avanzado	No todos los sistemas manejan bien la planificación de oleadas.
Puede generar tiempos muertos	Entre el fin de una oleada y el inicio de la siguiente, puede haber inactividad si la planificación no es precisa.

2.4.4 Criterios para formar oleadas

Criterio	Ejemplo de oleada
Ruta de entrega	Todos los pedidos para la ruta “Norte” se procesan juntos.
Transportista	Todos los pedidos que van por paquetería exprés (DHL, FedEx) se procesan en una oleada.
Prioridad	Oleada 1: pedidos urgentes (antes de las 10 AM); Oleada 2: pedidos regulares (antes de las 2 PM).
Tipo de producto	Oleada de productos congelados (para minimizar tiempo fuera de refrigeración).
Hora de corte	Todos los pedidos recibidos antes de las 3 PM se procesan en la oleada del día.

2.4.5 Aplicaciones típicas del *wave picking*

- Centros de distribución de retail con múltiples rutas de entrega diarias.
- Operaciones de e-commerce con diferentes niveles de servicio (express, estándar, económico).
- Centros de distribución de alimentos perecederos donde el tiempo fuera de cadena de frío debe minimizarse.

- Cualquier operación donde la expedición esté sincronizada con horarios de salida de camiones.

2.5 Tabla comparativa de metodologías de picking

Criterio	Por orden	Por lote	Por zona	Wave picking
Distancia recorrida por operador	Alta (por pedido)	Baja (por lote)	Muy baja (solo en su zona)	Variable (depende de la estrategia interna)
Productividad en pedidos pequeños	Muy baja	Alta	Media	Alta
Necesidad de consolidación	No	Sí	Sí	Sí
Complejidad de gestión	Baja	Media	Media-alta	Alta
Requerimiento de WMS	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Ideal para	Pedidos grandes	Muchos pedidos pequeños	Almacenes grandes	Operaciones con expedición programada
Ejemplo típico	Mayorista industrial	E-commerce	Retail gran superficie	Cadena de supermercados

3. Tecnologías asociadas al picking

Las tecnologías de picking tienen como objetivo aumentar la productividad (más líneas por hora), mejorar la precisión (menos errores) y reducir la fatiga del operador. A continuación, se presentan las principales tecnologías utilizadas en centros de distribución modernos.

3.1 Picking con terminales de radiofrecuencia (RF)

3.1.1 Descripción y funcionamiento

El picking con RF (radiofrecuencia) es la tecnología más extendida en centros de distribución. El operador utiliza una terminal portátil (similar a un teléfono industrial resistente) conectada inalámbricamente al WMS. La

terminal le indica, paso a paso, qué producto extraer, de qué ubicación y en qué cantidad. El operador escanea el código de barras del producto o de la ubicación para confirmar que ha tomado el producto correcto.

Flujo típico de picking con RF:

1. El operador inicia sesión en la terminal RF.
2. El sistema asigna una tarea de picking (puede ser por orden, por lote o por zona).
3. La terminal muestra: “Ubicación A-12-3, SKU 12345, tomar 5 unidades”.
4. El operador se desplaza a la ubicación.
5. Escanea el código de barras de la ubicación (opcional, según el nivel de control).
6. Escanea el código de barras del producto.
7. Ingresa la cantidad tomada (o la confirma si el sistema la sugiere).
8. La terminal valida que la ubicación y el producto sean correctos.
9. El operador deposita el producto en el contenedor del pedido.
10. El sistema asigna la siguiente ubicación.

3.1.2 Ventajas del picking con RF

Ventaja	Explicación
Precisión muy alta	El escaneo valida que el operador está en la ubicación correcta y tomó el producto correcto.
Actualización en tiempo real	El inventario se descuenta instantáneamente al confirmar el picking.
Flexibilidad	Soporta todas las metodologías de picking (por orden, lote, zona, wave).
Trazabilidad	Queda registro de qué operador hizo qué picking, a qué hora, y en qué pedido.
Barrera de entrada baja	Las terminales RF son relativamente económicas y fáciles de implementar.

3.1.3 Desventajas del picking con RF

Desventaja	Explicación
Requiere mirar la pantalla	El operador debe mirar la terminal, lo que puede distraer y reducir la atención al entorno.

Desventaja	Explicación
Uso de ambas manos	En algunos diseños, el operador necesita una mano para la terminal y otra para el producto.
Posible fatiga visual	Mirar repetidamente una pantalla pequeña puede causar fatiga en jornadas largas.
Dependencia de la red Wi-Fi	Si la cobertura Wi-Fi falla, el picking se detiene.

3.1.4 Aplicaciones típicas del RF

- Prácticamente todos los centros de distribución modernos utilizan RF como tecnología base.
- Es la tecnología estándar contra la cual se comparan otras (voice, pick-to-light, visión).

3.2 Voice picking (picking por voz)

3.2.1 Descripción y funcionamiento

El voice picking (o picking por voz) es una tecnología que utiliza comandos de voz sintetizada y reconocimiento de voz para guiar al operador. El operador usa un auricular con micrófono (generalmente inalámbrico, montado en la cabeza) y una pequeña terminal que se lleva en el cinturón. El sistema le habla al operador (“Ve a la ubicación A-12-3”), y el operador responde por voz (“Listo” o confirma la cantidad) sin necesidad de mirar una pantalla ni usar las manos para presionar botones.

Flujo típico de voice picking:

1. El operador inicia sesión diciendo su número de identificación al sistema.
2. El sistema asigna una tarea y dice, por ejemplo: “Ubicación A-12-3, SKU 12345, toma 5 unidades”.
3. El operador se desplaza a la ubicación.
4. El operador dice “Listo” o “OK”.
5. El sistema puede pedir que confirme los dígitos de verificación de la ubicación (ej. “Dime los dos últimos dígitos”).

6. El operador toma los productos.
7. El sistema pregunta: “¿Cuántas unidades tomaste?”.
8. El operador responde: “Cinco”.
9. El sistema confirma: “Cinco unidades de SKU 12345. Siguiendo ubicación: B-07-1...”.

3.2.2 Ventajas del *voice picking*

Ventaja	Explicación
Manos libres y ojos libres	El operador no necesita mirar una pantalla ni sostener una terminal, lo que mejora la seguridad y la ergonomía.
Mayor productividad	Estudios muestran aumentos del 15 % al 30 % en líneas por hora comparado con RF.
Alta precisión	Los sistemas de voz modernos alcanzan precisiones >99.9 %.
Curva de aprendizaje rápida	La interfaz de voz es natural y fácil de aprender; el sistema se adapta al acento del operador.
Ideal para entornos difíciles	Funciona bien en condiciones de poca luz, frío (donde usar guantes dificulta el uso de pantallas táctiles), o ambientes húmedos.

3.2.3 Desventajas del *voice picking*

Desventaja	Explicación
Mayor inversión inicial	Los sistemas de <i>voice picking</i> son más caros que las terminales RF básicas.
Entrenamiento del sistema	El sistema debe ser “entrenado” para reconocer la voz de cada operador (10-15 minutos por operador).
Problemas en ambientes ruidosos	En almacenes muy ruidosos (ej. con montacargas constantes), el reconocimiento de voz puede fallar.
Requiere disciplina en el habla	Los operadores deben hablar claramente y evitar lenguaje coloquial.
No es ideal para <i>picking</i> de múltiples pedidos simultáneos	El <i>voice picking</i> es excelente para <i>picking</i> por orden, pero complejo para <i>picking</i> por lote con múltiples contenedores.

3.2.4 Aplicaciones típicas del voice picking

- Centros de distribución con productos de tamaño mediano a grande (pallets, cajas grandes).
- Operaciones en ambientes fríos (cámaras de congelación) donde usar guantes dificulta el manejo de pantallas táctiles.
- Almacenes de repuestos automotrices, ferreterías, materiales de construcción.
- Operaciones donde la seguridad es prioritaria (el operador puede mantener sus manos libres para sostener el producto).

3.3 Pick-to-light (picking por luz)

3.3.1 Descripción y funcionamiento

El pick-to-light es un sistema de picking asistido por luces. En cada ubicación de almacenamiento (generalmente en estanterías de cajas o bandejas pequeñas), se instala un módulo con un display digital y un botón. Cuando un pedido debe ser preparado, las luces de las ubicaciones correspondientes se encienden y el display muestra la cantidad a tomar. El operador toma los productos y presiona el botón para confirmar, apagando la luz y registrando la transacción en el sistema.

Flujo típico de pick-to-light:

1. El sistema activa las luces de todas las ubicaciones que contienen productos para el pedido actual.
2. El operador camina por el pasillo; ve una luz encendida en una ubicación.
3. Lee la cantidad en el display (ej. “3”).
4. Toma 3 unidades.
5. Presiona el botón de confirmación.
6. La luz se apaga y el sistema descuenta el inventario.
7. El operador continúa con la siguiente luz encendida.

3.3.2 Ventajas del *pick-to-light*

Ventaja	Explicación
Muy alta productividad	El operador no necesita leer códigos de barras ni ingresar datos; solo tomar, presionar y seguir.
Precisión casi perfecta	Los errores de producto son prácticamente inexistentes porque la luz indica la ubicación exacta.
Curva de aprendizaje mínima	Un operador nuevo puede ser productivo en minutos.
Ideal para productos pequeños	Muy utilizado en zonas de picking de cajas pequeñas (farmacia, cosmética, electrónica).
Reduce la fatiga	No hay que cargar terminales ni leer pantallas.

3.3.3 Desventajas del *pick-to-light*

Desventaja	Explicación
Alta inversión inicial	Instalar módulos de luz en cada ubicación es costoso (por ubicación).
Poca flexibilidad	Reconfigurar las ubicaciones (cambiar SKU de lugar) requiere reprogramar los módulos.
Limitado a ciertos tipos de almacenamiento	Funciona bien en estanterías de cajas, pero no en racks de pallets o sistemas de gran altura.
Espacio adicional	Los módulos ocupan espacio en el frente de las estanterías.
No es ideal para picking por lote	El <i>pick-to-light</i> está diseñado para un pedido a la vez; para lotes, se necesita una variante más compleja (<i>put-to-light</i>).

3.3.4 Variante: *put-to-light*

El *put-to-light* es el inverso del *pick-to-light*. En lugar de que las luces guíen al operador a las ubicaciones de donde extraer productos, las luces guían al operador sobre dónde colocar productos para conformar múltiples pedidos simultáneamente. Es muy utilizado en la fase de clasificación del picking por lote. El operador toma productos de un contenedor (que contiene las cantidades agregadas de un lote) y las luces le indican en qué contenedor de pedido debe colocar cada producto.

3.4 Pick-by-vision (picking por visión asistida)

3.4.1 Descripción y funcionamiento

El pick-by-vision (también llamado picking con gafas inteligentes o augmented reality picking) es la tecnología más reciente y avanzada. El operador utiliza gafas de realidad aumentada (como Google Glass, Microsoft HoloLens o dispositivos específicos para logística) que proyectan información digital sobre el campo de visión del operador. Las gafas muestran, superpuestas sobre la realidad, las indicaciones de picking: flechas que guían hacia la ubicación, resaltado visual de la ubicación exacta, cantidad a tomar y confirmación por parpadeo o voz.

Flujo típico de pick-by-vision:

1. El operador se pone las gafas inteligentes.
2. El sistema muestra en la lente: “Pedido #12345”.
3. Una flecha virtual indica la dirección hacia la primera ubicación.
4. Al llegar, las gafas resaltan visualmente la ubicación exacta (ej. un recuadro verde sobre la estantería).
5. La gafa muestra: “Tomar 3 unidades”.
6. El operador toma las unidades.
7. Confirma con un gesto (ej. parpadeo, voz o un botón en la cintura).
8. El sistema actualiza y muestra la siguiente indicación.

3.4.2 Ventajas del pick-by-vision

Ventaja	Explicación
Máxima inmersión	El operador no necesita mirar pantallas externas; la información está siempre en su campo de visión.
Navegación asistida	Las flechas virtuales guían al operador por la ruta óptima, incluso en almacenes complejos.
Potencial para picking de alta complejidad	Puede mostrar imágenes del producto, instrucciones de empaque o advertencias de seguridad.
Registro visual	Las gafas pueden grabar el proceso para auditorías o entrenamiento.
Integración con otros sistemas	Puede mostrar información del WMS, temperatura del área, o alertas de inventario bajo.

3.4.3 Desventajas del pick-by-vision

Desventaja	Explicación
Alta inversión	Las gafas inteligentes son costosas (miles de dólares por unidad).
Tecnología aún en maduración	Problemas de duración de batería, peso de los dispositivos, campo de visión limitado.
Aceptación por los operadores	Algunos operadores pueden sentirse incómodos usando dispositivos en la cabeza.
Mantenimiento y actualización	Requiere soporte técnico especializado.
No probada en todas las condiciones	En ambientes muy polvorientos, húmedos o con vibraciones, el rendimiento puede degradarse.

4. Integración de metodologías y tecnologías

En la práctica, los centros de distribución no utilizan una única metodología o tecnología de manera exclusiva. Lo común es combinar diferentes enfoques según la zona del almacén, el tipo de producto o el perfil del pedido.

4.1 Ejemplos de integración

Escenario	Metodología	Tecnología	Justificación
Zona de productos de alta rotación (clase A)	Picking por orden (pedidos grandes) o por lote (pedidos pequeños)	RF o voice picking	Alta productividad y precisión.
Zona de productos pequeños (clase B y C)	Picking por lote con clasificación posterior	Pick-to-light o put-to-light	Máxima velocidad para muchos SKU pequeños.
Zona de productos voluminosos o pesados	Picking por orden (cada pedido es grande)	RF con montacargas	Los operadores usan montacargas; la RF está montada en el equipo.
Consolidación de pedidos de múltiples zonas	Wave picking	RF o voice picking	Sincronización de oleadas por ruta o transportista.

Escenario	Metodología	Tecnología	Justificación
Picking de productos congelados	Picking por lote (para minimizar tiempo fuera de cámara)	Voice picking (manos libres, funciona con guantes)	La voz es ideal para ambientes fríos.

4.2 Ejemplo integrado completo

Centro de distribución de e-commerce de tamaño medio:

- **Zona de productos pequeños (alta variedad, 10 000 SKU):** Picking por lote (12 pedidos por lote) con tecnología pick-to-light para la extracción y put-to-light para la clasificación. Productividad: 250 líneas/hora por operador.
- **Zona de productos medianos (cajas, 3000 SKU):** Picking por lote (6 pedidos por lote) con tecnología voice picking. Productividad: 180 líneas/hora por operador.
- **Zona de productos grandes (electrodomésticos, 500 SKU):** Picking por orden (un pedido a la vez, porque cada pedido es voluminoso) con terminal RF montada en montacargas. Productividad: 40 líneas/hora por operador (pero cada línea es un producto grande).
- **Coordinación:** Wave picking para agrupar pedidos por transportista (DHL, FedEx, correo local). Cada oleada se procesa en 2 horas.
- **Resultados:** 20 000 pedidos procesados por día con 50 operadores de picking, precisión del 99.8 %, tiempo promedio de ciclo del pedido de 45 minutos desde la recepción del pedido hasta la expedición.

5. Indicadores clave de desempeño (KPIs) para el picking

Indicador	Fórmula	Interpretación
Líneas por hora (LPH)	(Número de líneas de pedido preparadas) / (Horas hombre de picking)	Objetivo: variable según tecnología (RF: 60-120; voice: 80-160; pick-to-light: 100-250).
Precisión del picking	(Pedidos sin errores) / (Total de pedidos) × 100	Objetivo: >99.5 %; excelente: >99.9 %.
Tiempo de ciclo del picking	Tiempo desde la asignación del pedido hasta su finalización	Objetivo: según nivel de servicio (ej. 30 minutos para pedidos express).

Indicador	Fórmula	Interpretación
Distancia recorrida por línea	(Distancia total recorrida por operadores) / (Líneas preparadas)	Objetivo: minimizar mediante rutas optimizadas y zonificación.
Tasa de cumplimiento de oleada	(Pedidos completados dentro de la ventana de la oleada) / (Total pedidos en la oleada) $\times$ 100	Objetivo: >95 % para oleadas regulares; >99 % para oleadas prioritarias.
Costo por línea preparada	(Costo total de picking: mano de obra + depreciación tecnología) / (Líneas preparadas)	Referencia típica: US\$ 0.10 - 0.50 por línea, según complejidad.

6. Resumen del tema

- La preparación de pedidos (picking) es el proceso de mayor impacto en la productividad y el costo de un centro de distribución, representando entre el 50 % y el 70 % del costo operativo total.
- Las metodologías de picking se eligen según el perfil de los pedidos y la configuración del almacén. El picking por orden es simple, pero ineficiente para pedidos pequeños; el picking por lote reduce la distancia recorrida, pero requiere clasificación posterior; el picking por zona limita el recorrido de cada operador a un área específica; el wave picking agrupa pedidos por criterios de expedición.
- Las tecnologías de picking aumentan la productividad y la precisión. El RF es la tecnología base y más extendida. El voice picking ofrece manos y ojos libres, ideal para productos medianos/grandes y ambientes fríos. El pick-to-light es extremadamente rápido para productos pequeños, pero requiere alta inversión por ubicación. El pick-by-vision (gafas inteligentes) es la tecnología emergente con gran potencial futuro.
- En la práctica, los centros de distribución combinan metodologías y tecnologías según la zona, el tipo de producto y el perfil del pedido. No existe una solución única; la clave es la integración.
- Los indicadores clave (líneas por hora, precisión, tiempo de ciclo, costo por línea) permiten monitorear y mejorar continuamente el proceso de picking.

Preguntas de reflexión para el estudiante

1. ¿Por qué el picking por lote es más eficiente que el picking por orden cuando los pedidos tienen pocas líneas (ej. 1-2 líneas por pedido)? Explique con un ejemplo numérico de distancias recorridas.

2. En un centro de distribución de productos farmacéuticos donde la precisión es crítica (no se admiten errores), ¿qué combinación de metodología y tecnología recomendaría y por qué?

3. ¿Cuáles son las principales ventajas del voice picking sobre el RF en una cámara de congelación (-18°C)? ¿Qué desventajas podría tener?

4. Una empresa de e-commerce tiene un pico estacional en noviembre-diciembre que multiplica por 5 el volumen de pedidos. ¿Cómo debería ajustar su metodología de picking durante el pico? ¿Qué tecnología le permitiría escalar más rápidamente?

5. Compare el pick-to-light y el put-to-light. ¿En qué fase del proceso de picking por lote se utiliza cada uno?

6. ¿Por qué el pick-by-vision aún no ha reemplazado al voice picking o al RF a pesar de su potencial? Mencione al menos tres barreras para su adopción masiva.

7. Calcule la productividad (líneas por hora) de un operador que en una jornada de 7 horas efectivas preparó 1400 líneas de pedido. Si el costo por hora del operador es de US\$ 15, ¿cuál es el costo por línea preparada? ¿Cómo se compara con los rangos típicos de la industria (US\$ 0.10-0.50)?

8. Proponga una estrategia de picking para un centro de distribución que maneja tres tipos de productos: (a) repuestos pequeños de alta rotación (clase A), (b) herramientas medianas de rotación media (clase B), y (c) equipos grandes de baja rotación (clase C). Especifique metodología y tecnología para cada zona.

Capítulo 11

Embalaje, consolidación y expedición: Optimización de cajas, etiquetado, carga y despacho

1. Introducción al embalaje, consolidación y expedición

Una vez que los productos han sido extraídos de sus ubicaciones de almacenamiento mediante el proceso de picking, el siguiente paso en el flujo operativo es su preparación para la salida del centro de distribución. Este conjunto de procesos —embalaje, consolidación y expedición— constituye la última fase del procesamiento interno antes de que los productos sean entregados al cliente. Su eficiencia determina directamente la integridad de los productos durante el transporte, la precisión del envío, la satisfacción del cliente y los costos logísticos totales.

El embalaje, la consolidación y la expedición son procesos que a menudo se subestiman en el diseño de centros de distribución, pero que pueden representar entre el 15 % y el 25 % del costo operativo total. Además, son la “última milla” interna: cualquier error en esta fase (etiquetado incorrecto, embalaje deficiente, consolidación errónea) se traduce en clientes insatisfechos, devoluciones costosas y pérdida de reputación.

Este tema desarrolla los cuatro subprocesos clave de esta fase. En primer lugar, se aborda el embalaje (o packaging), incluyendo la selección de materiales, la optimización del tamaño de cajas para minimizar volumen y costos de transporte, y la protección adecuada de los productos. En segundo lugar, se analiza la consolidación de pedidos, es decir, la agrupación de productos de múltiples orígenes (zonas de picking, diferentes operadores) en un único envío. En tercer lugar, se examina el etiquetado de los envíos, un proceso crítico para la trazabilidad, el seguimiento y la correcta entrega. Finalmente, se estudia la carga y despacho, que incluye la planificación de la carga en los vehículos, la optimización del espacio de transporte y la coordinación con los transportistas para la salida oportuna.

2. Embalaje (packaging)

2.1 Definición y propósito

El embalaje es el proceso de acondicionar los productos ya preparados (en unidades de pedido) en contenedores adecuados para su protección durante el transporte y manipulación, así como para facilitar su identificación y manejo en los eslabones posteriores de la cadena de suministro.

El embalaje cumple múltiples funciones:

Función	Descripción
Protección	Evita daños por golpes, vibraciones, compresión, humedad, temperatura, polvo, etc.
Contención	Agrupar productos pequeños en una unidad manejable (caja, bolsa, sobre).
Identificación	El embalaje lleva etiquetas, códigos de barras, etiquetas RFID, etc., que permiten la trazabilidad.
Información	Instrucciones de manejo (“frágil”, “este lado arriba”), contenido, destino.
Marketing	En el caso de embalajes de consumo (ej. cajas de e-commerce), también transmiten la imagen de marca.
Eficiencia logística	Un embalaje bien dimensionado optimiza el espacio en los camiones y reduce costos de transporte.

2.2 Tipos de embalaje

Tipo	Descripción	Aplicación típica
Embalaje primario	El que está en contacto directo con el producto (ej. blister, bolsa, botella).	Generalmente realizado por el fabricante, no en el centro de distribución.
Embalaje secundario	Agrupar varias unidades de embalaje primario (ej. caja que contiene 12 botellas).	Puede realizarse en el centro de distribución (reempaque, kitting).
Embalaje terciario	Agrupar múltiples embalajes secundarios para transporte masivo (ej. pallet).	Realizado en el centro de distribución para envíos B2B.
Embalaje de envío	El contenedor final que viaja desde el centro de distribución hasta el cliente (ej. caja de cartón, sobre acolchado, bolsa de polietileno).	Realizado en el centro de distribución para cada pedido.

En el contexto de este tema, el foco está en el embalaje de envío (para pedidos individuales) y el embalaje terciario (para envíos B2B en pallets).

2.3 Optimización de cajas (cartonization / box sizing)

2.3.1 Definición y propósito

La optimización de cajas (también llamada cartonization o box sizing) es el proceso de seleccionar, para cada pedido, el tamaño y tipo de caja (o sobre) más adecuado, de modo que se minimice el volumen total del envío, se reduzca el uso de materiales de relleno, se proteja adecuadamente el producto y se optimice el espacio en el transporte.

Un mal dimensionamiento de las cajas genera:

- **Cajas sobredimensionadas:** Desperdicio de material de embalaje, mayor costo de caja, mayor volumen en el transporte (menos pedidos por camión), necesidad de más material de relleno.
- **Cajas subdimensionadas:** Riesgo de daños por aplastamiento o falta de protección, dificultad para cerrar la caja, productos que sobresalen.

2.3.2 Métodos de optimización de cajas

Método	Descripción	Complejidad	Precisión
Manual (operador decide)	El operador mira los productos y elige una caja entre las disponibles.	Baja	Baja (depende de la experiencia)
Tabla de correspondencia simple	El sistema asigna un tipo de caja según el número de unidades o el peso total (ej. 1-2 unidades → caja pequeña; 3-5 unidades → caja mediana).	Baja	Media
Basado en volumen estimado	El WMS suma los volúmenes de los productos y selecciona la caja más pequeña que pueda contener ese volumen, asumiendo un factor de empaque (ej. 80 % de eficiencia).	Media	Media-alta

Método	Descripción	Complejidad	Precisión
Algoritmo 3D de empaque (bin packing)	El sistema simula en tres dimensiones cómo colocar los productos dentro de la caja, optimizando el espacio.	Alta	Muy alta (cercana a la óptima)
Sistemas automatizados de empaque	Máquinas que miden los productos en tiempo real, cortan y sellan cajas a la medida exacta (cajas a medida).	Muy alta	Máxima (cero desperdicios de volumen)

2.3.3 Algoritmos de bin packing 3D

Los algoritmos de bin packing (empaque en contenedores) en tres dimensiones son la forma más avanzada de optimización de cajas. Estos algoritmos consideran:

- **Dimensiones de cada producto:** Largo, ancho, alto.
- **Orientación permitida:** Si los productos pueden rotarse (ej. un libro puede rotarse, una botella con tapa quizás no).
- **Apilabilidad:** Si se pueden apilar productos unos sobre otros.
- **Limitaciones de peso:** Peso máximo por caja.
- **Secuencia de extracción:** En algunos casos, los productos deben empaquetarse en un orden específico.

El algoritmo calcula la disposición óptima de los productos dentro de la caja, selecciona el tamaño de caja más pequeño posible (de un conjunto predefinido) que pueda contenerlos y genera instrucciones para el operador sobre cómo colocar los productos dentro de la caja.

Ejemplo: Un pedido tiene tres productos: un libro (25×20×3 cm, 0.8 kg), una taza (12×12×10 cm, 0.3 kg) y una caja de bombones (15×15×5 cm, 0.4 kg). El algoritmo determina que caben en una caja de 30×25×15 cm, colocando el libro en el fondo, la taza junto al libro y los bombones encima del libro..

2.3.4 Materiales de embalaje y protección

Además de la caja, el embalaje incluye materiales de protección para evitar daños:

Material	Función	Aplicación típica
Papel kraft arrugado	Relleno, amortiguación	Productos livianos, espacios vacíos
Plástico de burbujas (bubble wrap)	Amortiguación contra golpes	Productos frágiles (electrónicos, vidrio)
Espuma de polietileno (foam)	Protección en esquinas y bordes	Productos de alto valor, bordes afilados
Colchones de aire (air pillows)	Relleno liviano, reducción de espacios vacíos	E-commerce, productos livianos
Papel de relleno triturado	Relleno ecológico	Empresas con políticas de sostenibilidad
Separadores de cartón	Evita que productos se golpeen entre sí	Múltiples unidades del mismo producto en una caja

2.3.5 Sostenibilidad en el embalaje

Práctica sostenible	Descripción	Beneficio
Reducción de tamaño de cajas	Optimización para usar la caja más pequeña posible	Menos material, menos volumen en transporte
Materiales reciclados o reciclables	Uso de cartón con porcentaje de reciclaje, plásticos biodegradables	Menor huella ambiental
Eliminación de plásticos de un solo uso	Reemplazar burbujas de plástico por papel acolchado o moldes de cartón	Reducción de residuos plásticos
Cajas retornables	Para clientes B2B frecuentes, usar cajas plásticas retornables	Reducción de residuos a largo plazo
Dosificación precisa de materiales	Sistemas que cortan la cantidad exacta de papel o plástico necesario	Menor desperdicio

2.4 Indicadores clave para el embalaje

Indicador	Fórmula	Interpretación
Factor de utilización de caja	$\frac{\text{(Volumen de los productos)}}{\text{(Volumen interno de la caja)}} \times 100$	Objetivo: >70 %; <50 % indica sobredimensionamiento.
Costo de embalaje por pedido	$\frac{\text{(Costo total de materiales + mano de obra de embalaje)}}{\text{(Número de pedidos)}}$	Debe monitorearse para identificar oportunidades de reducción.

Indicador	Fórmula	Interpretación
Tasa de daños por embalaje deficiente	$(\text{Pedidos con daños atribuibles al embalaje}) / (\text{Total de pedidos}) \times 100$	Objetivo: <0.1 % para productos estándar.
Productividad del embalaje	$(\text{Pedidos embalados}) / (\text{Horas hombre de embalaje})$	Varía según complejidad; referencia: 20-40 pedidos/hora en e-commerce.

3. Consolidación de pedidos

3.1 Definición y propósito

La consolidación es el proceso de reunir todos los productos que pertenecen a un mismo pedido cuando estos han sido preparados en diferentes zonas del almacén o por diferentes operadores. Es especialmente relevante en metodologías de picking por zona o por lote, donde los productos de un pedido no son recolectados por una sola persona en un solo recorrido.

Propósito: Asegurar que cada pedido tenga todos sus productos antes de proceder al embalaje y expedición, y que ningún producto quede rezagado o se extravíe entre zonas.

3.2 Métodos de consolidación

Método	Descripción	Aplicación típica	Espacio requerido
Consolidación por transportador	Los productos de cada zona se depositan en un transportador que los lleva a una estación central de consolidación.	Almacenes con transportadores automáticos	Bajo (el transportador ocupa poco espacio)
Consolidación por carriles de clasificación (sorting)	Los productos pasan por un clasificador automático que los dirige a carriles específicos, uno por pedido o por ruta.	Alto volumen, e-commerce, paquetería	Medio (requiere espacio para los carriles)

Método	Descripción	Aplicación típica	Espacio requerido
Consolidación por estanterías dinámicas	Se asignan estantes o contenedores a cada pedido. Los operadores de cada zona depositan sus productos en el contenedor correspondiente.	Almacenes medianos, picking por lote con put-to-light	Medio
Consolidación manual por área de preparación	Los productos de todas las zonas se llevan a un área común donde un operador agrupa cada pedido manualmente.	Almacenes pequeños, bajo volumen	Alto (necesita espacio para estanterías de pedidos en proceso)

3.3 Proceso de consolidación con put-to-light

El put-to-light (mencionado en el tema anterior) es una tecnología especialmente eficaz para la consolidación en el contexto del picking por lote. El proceso es el siguiente:

1. Se prepara un módulo de clasificación con estanterías que contienen contenedores, uno por pedido.
2. Cada contenedor tiene un módulo de luz que indica la cantidad a colocar.
3. El operador toma un contenedor (o bandeja) que contiene la cantidad agregada de un SKU para un lote de pedidos.
4. Escanea el SKU (opcionalmente, si el sistema no lo sabe automáticamente).
5. Las luces de los contenedores que deben recibir ese SKU se encienden, mostrando la cantidad correspondiente (ej. “3” para el pedido A, “1” para el pedido B, etc.).
6. El operador coloca las cantidades indicadas en cada contenedor.
7. Presiona el botón de confirmación en cada contenedor.
8. Al finalizar, las luces se apagan y el operador continúa con el siguiente SKU.

El put-to-light puede alcanzar productividades de 300-500 colocaciones por hora por operador, con una precisión cercana al 99.9 %.

3.4 Consolidación en operaciones B2B (pallets)

En operaciones mayoristas o B2B, donde los pedidos se envían en pallets, la consolidación puede ser más simple:

- **Picking directo a pallet:** El operador coloca los productos directamente sobre el pallet del pedido a medida que los recoge. No se requiere consolidación adicional.
- **Picking a carro y transferencia a pallet:** Los productos se recogen en carros y luego se transfieren manualmente al pallet en un área de consolidación.
- **Palletización automática:** Robots o sistemas automatizados colocan las cajas sobre el pallet según un patrón optimizado.

3.5 Indicadores clave para la consolidación

Indicador	Fórmula	Interpretación
Tiempo de consolidación por pedido	$(\text{Tiempo total de consolidación}) / (\text{Número de pedidos consolidados})$	Objetivo: <2 minutos para pedidos pequeños; <10 minutos para pedidos grandes.
Precisión de la consolidación	$(\text{Pedidos consolidados sin errores de mezcla}) / (\text{Total pedidos consolidados}) \times 100$	Objetivo: >99.8 %.
Tasa de pedidos incompletos en consolidación	$(\text{Pedidos con productos faltantes al llegar a consolidación}) / (\text{Total pedidos}) \times 100$	Debe ser <1 %; si es mayor, hay problemas en el picking.

4. Etiquetado

4.1 Definición y propósito

El etiquetado es el proceso de colocar etiquetas en los embalajes (cajas, sobres, pallets) que contienen información necesaria para la identificación, el seguimiento y la correcta entrega del envío. Las etiquetas son el “documento de viaje” del producto desde que sale del centro de distribución hasta que llega al cliente.

4.2 Tipos de etiquetas

Tipo de etiqueta	Contenido	Función	Quién la genera
Etiqueta de envío (shipping label)	Dirección del destinatario, código de barras de seguimiento, número de guía, dirección de retorno	Permite al transportista entregar el paquete y al cliente rastrearlo.	WMS o sistema de transporte (TMS)
Etiqueta de contenido (packing slip)	Lista de productos incluidos, cantidades, códigos SKU	Permite al cliente verificar que recibió lo que pidió.	WMS
Etiqueta de manejo (handling label)	“Fragil”, “Este lado arriba”, “Mantener seco”, “No apilar”	Instrucciones para transportistas y manipuladores.	WMS (automática según producto)
Etiqueta de lote o caducidad	Número de lote, fecha de caducidad	Trazabilidad, especialmente en alimentos y farmacia.	WMS (impresa desde el registro del lote)
Etiqueta de peligro (hazard label)	Símbolos de peligro (inflamable, corrosivo, tóxico)	Seguridad en el transporte de mercancías peligrosas.	WMS (según clasificación del producto)
Etiqueta RFID	Chip con información electrónica	Seguimiento en tiempo real sin necesidad de escaneo línea de visión.	WMS + impresora RFID

4.3 Tecnologías de etiquetado

Tecnología	Descripción	Velocidad	Aplicación
Impresoras de etiquetas por transferencia térmica	Imprimen etiquetas adhesivas utilizando calor y cinta (ribbon).	Alta (1-4 etiquetas/segundo)	La más común; etiquetas duraderas, resistentes a la humedad.
Impresoras de etiquetas térmicas directas	Imprimen sobre papel termosensible sin cinta.	Alta (2-6 etiquetas/segundo)	Etiquetas de corta duración (envíos que no requieren larga duración).

Tecnología	Descripción	Velocidad	Aplicación
Aplicadores automáticos de etiquetas	Máquinas que aplican etiquetas a cajas en movimiento sobre transportadores.	Muy alta (10-60 cajas/minuto)	Alto volumen, cajas de tamaño uniforme.
Etiquetado por impresión en línea	La información se imprime directamente sobre la caja (sin etiqueta adhesiva).	Muy alta	Sostenible (sin residuos de etiquetas); requiere impresoras especiales.
RFID integrada	La etiqueta contiene un chip RFID; se imprime y codifica simultáneamente.	Media (la codificación requiere tiempo adicional)	Trazabilidad avanzada, lectura masiva sin línea de visión.

4.4 Estándares de etiquetado

Para garantizar la interoperabilidad entre diferentes centros de distribución, transportistas y clientes, existen estándares internacionales de etiquetado:

Estándar	Descripción	Aplicación
GS1-128	Código de barras que contiene información como número de lote, fecha de caducidad, cantidad, número de serie.	Generalizado en cadenas de suministro globales.
SSCC (Serial Shipping Container Code)	Código único de 18 dígitos que identifica una unidad logística (pallet o contenedor).	Seguimiento de pallets en transporte.
Etiquetas de transportistas	Cada transportista (DHL, FedEx, UPS, correo local) tiene su propio formato de etiqueta de envío.	Integración con sistemas de los transportistas.
GS1-128 con Application Identifiers (AI)	El estándar más completo; permite incluir múltiples atributos en un solo código de barras.	Industria farmacéutica, automotriz, retail.

4.5 Control de calidad en etiquetado

El etiquetado es uno de los procesos con mayor impacto en la satisfacción del cliente y en la eficiencia de la cadena de suministro. Un error de

etiquetado (dirección equivocada, código de barras ilegible, etiqueta de contenido incorrecta) puede causar:

- Entrega a cliente incorrecto.
- Devolución del paquete por parte del transportista.
- Incumplimiento de normativas (especialmente en productos regulados).
- Insatisfacción del cliente (recibe un producto sin saber qué contiene).

Prácticas de control de calidad:

Práctica	Descripción
Verificación automática de código de barras	Lector de códigos de barras en la línea de embalaje verifica que la etiqueta sea legible y correcta.
Pesaje de verificación	Se pesa el paquete completo y se compara con el peso teórico calculado por el WMS (basado en los productos y la caja).
Cámara de inspección visual	Cámaras verifican que la etiqueta esté en la posición correcta y que no haya etiquetas dobles o faltantes.
Doble escaneo	El operador escanea el código de barras del producto y el código de la etiqueta para confirmar correspondencia.

5. Carga y despacho

5.1 Definición y propósito

La carga y despacho es el proceso final del centro de distribución, que consiste en trasladar los pedidos ya embalados y etiquetados desde el área de consolidación hasta los vehículos de transporte, acomodarlos dentro de los vehículos de manera óptima y documentar su salida.

Propósito: Asegurar que los pedidos salgan del centro de distribución en el vehículo correcto, hacia el destino correcto, en el orden adecuado para facilitar la entrega, y con la documentación necesaria para el transportista y el cliente.

5.2 Planificación de la carga

5.2.1 Factores a considerar en la planificación de la carga

Factor	Descripción
Volumen y peso	No exceder la capacidad volumétrica (m ³) ni la capacidad de peso (kg) del vehículo.
Secuencia de entregas	Los productos que se entregarán primero deben cargarse al final (para estar cerca de la puerta).
Compatibilidad	Productos frágiles no deben ir junto a productos pesados; productos con olores fuertes, separados de alimentos; productos peligrosos, en compartimentos específicos.
Estabilidad	Distribuir el peso uniformemente para evitar vuelcos; apilar correctamente.
Accesibilidad	Dejar espacio para que el conductor pueda acceder a los productos en cada parada sin tener que descargar todo.
Normativas	Cumplir con regulaciones de transporte (ej. peso máximo por eje, etiquetado de peligros, amarre de carga).

5.2.2 Métodos de planificación de carga

Método	Descripción	Herramienta	Aplicación
Carga manual por experiencia	El cargador decide cómo acomodar los pedidos según su experiencia.	Ninguna	Bajo volumen, vehículos pequeños.
Carga por secuencia de ruta	Los pedidos se cargan en orden inverso a la ruta de entregas (el último en entregarse se carga primero).	Lista de ruta	Común en distribución B2B y B2C.
Optimización con software de carga (load planning)	El software calcula la disposición óptima de las cajas o pallets dentro del vehículo, minimizando el espacio desperdiciado y respetando restricciones.	Sistemas de carga (ej. CubeMaster, LoadPlanner)	Alto volumen, vehículos de diferentes tamaños.
Carga automatizada	Robots o sistemas de transportadores cargan los pallets o cajas en el vehículo automáticamente.	Sistemas automatizados de carga (ej. pallet shuttles)	Muy alto volumen, operaciones 24/7.

5.2.3 Optimización de la carga (cube utilization)

La optimización de la carga busca maximizar el uso del volumen (m^3) y peso (kg) del vehículo, reduciendo el número de vehículos necesarios y, por lo tanto, los costos de transporte.

Estrategia	Descripción	Ahorro estimado
Palletización optimizada	Colocar las cajas en el pallet siguiendo patrones que maximicen el uso del área del pallet.	10-20 % de mejora en densidad
Carga mixta (pallets y cajas sueltas)	Utilizar el espacio remanente del camión (sobre y alrededor de los pallets) para cajas sueltas.	5-15 % de mejora
Nivelación de carga	Distribuir el peso uniformemente para evitar sobrecarga en un eje, permitiendo llevar más peso total.	5-10 % de mejora en peso utilizable
Uso de contenedores retornables	Contenedores de tamaño estandarizado que encajan perfectamente en el camión (como un Tetris).	15-25 % de mejora

5.3 Proceso de despacho

5.3.1 Flujo típico de despacho

1. **Asignación de muelle:** El sistema asigna a cada camión un muelle de carga según la programación de citas.
2. **Llegada del camión:** El transportista se presenta en la garita, presenta documentación y se le asigna un muelle.
3. **Verificación de documentación:** Se coteja que la guía de carga (manifiesto) coincida con los pedidos asignados al camión.
4. **Carga:** Los operadores cargan los pedidos en el camión, siguiendo el plan de carga.
5. **Verificación de carga:** Se confirma que todos los pedidos asignados han sido cargados y que no hay pedidos no asignados en el camión.
6. **Sellado:** El camión se sella (sello de seguridad) para garantizar que no se abra hasta el destino.

7. **Cierre de guía:** El sistema registra la salida, actualiza el estado de los pedidos a “en tránsito”, y genera el manifiesto de carga final.
8. **Salida:** El camión abandona el centro de distribución.

5.3.2 Documentación de despacho

Documento	Emisor	Contenido	Función
Manifiesto de carga / Carta porte	Centro de distribución	Lista de pedidos carga- dos, destino, peso total, número de bultos	Control de salida; re- querido por las auto- ridades de transporte.
Guía de remisión / Delivery note	Centro de distribución	Detalle de productos por pedido, cantidades	Entregada al cliente para verificación.
Factura comercial	Centro de distribución (o área comercial)	Precios, impuestos, condiciones de pago	Acompaña al pedido para facturación al cliente.
Sello de seguridad	Centro de distribución (o transportista)	Número único de sello	Garantiza que la carga no fue manipulada durante el tránsito.

5.3.3 Indicadores clave para carga y despacho

Indicador	Fórmula	Interpretación
Tiempo de carga por camión	$\text{Hora de salida} - \text{Hora de inicio de carga}$	Objetivo: <60 minutos para camión completo.
Utilización del volumen del camión	$(\text{Volumen ocupado}) / (\text{Volumen útil del camión}) \times 100$	Objetivo: >85 % para envíos consolidados.
Tasa de errores de despacho	$(\text{Pedidos cargados en camión equivocado}) / (\text{Total pedidos despachados}) \times 100$	Objetivo: <0.1 %.
Cumplimiento de ventana de despacho	$(\text{Camiones que salen dentro de su ventana asignada}) / (\text{Total camiones}) \times 100$	Objetivo: >95 %.
Tiempo de espera de camiones	$\text{Hora de inicio de carga} - \text{Hora de llegada del camión}$	Objetivo: <30 minutos.

6. Integración de embalaje, consolidación, etiquetado y carga

Estos cuatro procesos no operan de manera aislada. En un centro de distribución eficiente, están integrados mediante sistemas de información y, a menudo, mediante transportadores automáticos.

6.1 Flujo integrado típico (e-commerce)

Picking (por lote) → Clasificación (put-to-light) → Consolidación (pedido completo en contenedor) →
Embalaje (selección automática de caja, inserción de productos, cierre) →
Etiquetado (impresión y aplicación automática de etiqueta de envío) →
Clasificación por transportista (sorter) →
Carga (carga por ruta en camiones)

6.2 Flujo integrado típico (B2B - pallets)

Picking (directo a pallet) → Envoltorio de pallet (film estirable) →
Etiquetado de pallet (SSCC, etiqueta de contenido) →
Transportador de pallets al área de expedición →
Clasificación por ruta (lectura de código de barras) →
Carga (montacargas coloca pallets en camión según plan de carga)

6.3 Tecnologías de integración

Tecnología	Función	Beneficio
Transportadores automáticos	Trasladan cajas o bandejas entre etapas sin intervención manual.	Reduce manipulación, aumenta velocidad.
Clasificadores automáticos (sorters)	Dirigen cada caja o paquete al carril correspondiente (por transportista, ruta, destino).	Permite manejar miles de paquetes por hora.
Escáneres fijos	Escanean códigos de barras en movimiento, actualizando el estado del pedido automáticamente.	Trazabilidad en tiempo real, sin esfuerzo manual.

Tecnología	Función	Beneficio
Sistemas de pesaje dinámico	Pesan cada paquete en movimiento y verifican contra el peso teórico.	Detecta errores (productos faltantes o sobrantes).
Impresoras-aplicadoras automáticas	Imprimen y aplican etiquetas a cajas en movimiento.	Velocidad, precisión, reducción de mano de obra.

7. Ejemplo integrado completo

Escenario: Un centro de distribución de e-commerce de tamaño mediano procesa 10 000 pedidos por día. Los pedidos tienen entre 1 y 5 productos, principalmente de tamaño pequeño a mediano (libros, electrónicos, ropa, cosméticos).

Proceso integrado:

1. **Picking por lote:** Se agrupan 12 pedidos por lote. Picking con tecnología pick-to-light (para productos pequeños) y voice picking (para productos medianos).
2. **Clasificación y consolidación:** Los productos del lote se llevan a un módulo de put-to-light con 12 contenedores (uno por pedido). El operador coloca los productos en los contenedores según las indicaciones de las luces.
3. **Embalaje automático:** Una vez que el pedido está completo, el contenedor se vacía en una máquina de empaque. La máquina:
 - Mide los productos (mediante sensores láser).
 - Selecciona la caja más pequeña que los contiene (de 5 tamaños predefinidos).
 - Inserta los productos en la caja.
 - Agrega material de relleno (colchones de aire) en los espacios vacíos.
 - Cierra y sella la caja.
4. **Etiquetado:** Una impresora-aplicadora imprime la etiqueta de envío (con código de barras de seguimiento) y la aplica sobre la caja.
5. **Clasificación por transportista:** La caja pasa por un escáner que lee el código de barras y la dirige a uno de los 8 carriles de salida, cada uno correspondiente a un transportista diferente (DHL, FedEx, correo local, etc.).

6. **Carga:** Los carriles alimentan directamente los camiones de cada transportista. Los operadores de carga colocan las cajas en los camiones, pero el orden ya está optimizado por el sistema (secuencia de entregas).

Resultados:

- **Productividad:** 150 pedidos/hora por operador (incluyendo todas las etapas).
- **Precisión:** 99.9 % (errores de producto o cantidad prácticamente inexistentes).
- **Tiempo de ciclo:** 45 minutos desde el pedido hasta la expedición.
- **Costo de embalaje:** US\$ 0.12 por pedido (caja + relleno + etiqueta).

8. Resumen del tema

- El embalaje, la consolidación y la expedición son los procesos finales del centro de distribución antes de que los productos salgan hacia el cliente. Su eficiencia impacta directamente en los costos de transporte, la satisfacción del cliente y la sostenibilidad ambiental.
- El embalaje protege los productos durante el transporte. La optimización de cajas (cartonization) minimiza el volumen y el uso de materiales, reduciendo costos y huella ambiental. Los algoritmos de bin packing 3D son la forma más avanzada de optimización.
- La consolidación reúne los productos de un mismo pedido provenientes de diferentes zonas o lotes. El put-to-light es una tecnología muy eficaz para la consolidación en picking por lote.
- El etiquetado es crítico para la trazabilidad y la correcta entrega. Las etiquetas deben cumplir estándares (GS1-128, SSCC) y ser verificadas automáticamente para evitar errores.
- La carga y despacho incluye la planificación de la carga (optimización del espacio en el vehículo, respetando secuencia de entregas y compatibilidades) y la coordinación con los transportistas. Los sistemas de carga y los clasificadores automáticos permiten manejar alto volumen.
- La integración de estos procesos mediante transportadores, clasificadores automáticos, escáneres fijos y sistemas de pesaje dinámico permite alcanzar altas productividades y precisiones en centros de distribución de alto volumen.

Preguntas de reflexión para el estudiante

1. ¿Por qué la optimización de cajas (cartonization) es más relevante en e-commerce que en distribución B2B mayorista? ¿Qué diferencias hay en el perfil de pedidos que justifican esta diferencia?

2. Una empresa envía productos frágiles (ej. vajillas de cerámica). ¿Qué consideraciones especiales debe tener en el embalaje, más allá de la optimización de tamaño de caja?

3. Explique cómo un error en el etiquetado (etiqueta de envío con dirección incorrecta) afecta no solo al cliente, sino a toda la cadena de suministro (transportista, centro de distribución, costo de devolución).

4. En un centro de distribución B2B que envía pallets a tiendas, ¿por qué es importante la secuencia de carga (cargar al final los productos que se entregarán primero)? ¿Qué ocurre si no se respeta?

5. ¿Qué ventajas tiene el uso de un clasificador automático (sorter) en la etapa de expedición frente a la clasificación manual por transportista? ¿Qué inversión se requiere?

6. Proponga un sistema de verificación de calidad para el etiquetado en un centro de distribución de productos farmacéuticos, donde un error podría tener consecuencias graves para la salud.

7. Calcule la utilización del volumen de un camión que tiene 80 m^3 de capacidad útil y transporta 60 m^3 de cajas (considerando que las cajas no llenan completamente el espacio por formas irregulares). Si se optimiza la carga y se alcanzan 75 m^3 , ¿cuál es el ahorro porcentual en número de camiones (suponiendo volumen constante)?

8. Una empresa de e-commerce quiere reducir su huella ambiental en el embalaje. Proponga al menos cuatro acciones concretas que podría implementar, considerando materiales, procesos y tecnologías.

Capítulo 12

Gestión de devoluciones (logística inversa): Clasificación, reintegración, disposición final y costos asociados

1. Introducción a la gestión de devoluciones y logística inversa

La gestión de devoluciones, también conocida como logística inversa (reverse logistics), es el conjunto de procesos mediante los cuales los productos fluyen desde el cliente hacia el centro de distribución (en dirección opuesta al flujo normal de la cadena de suministro), con el propósito de recuperar valor, garantizar la satisfacción del cliente, cumplir con garantías o disponer adecuadamente de productos no comercializables.

Tradicionalmente, las devoluciones eran vistas como una molestia operativa, un costo inevitable que se trataba de minimizar. Sin embargo, en la última década, la gestión de devoluciones ha adquirido una relevancia estratégica, especialmente con el auge del comercio electrónico, donde las tasas de devolución pueden alcanzar entre el 20 % y el 40 % en categorías como moda y calzado. Una gestión deficiente de las devoluciones genera pérdidas significativas, insatisfacción del cliente, desperdicio de recursos y daño a la reputación de la marca. Por el contrario, una gestión eficiente puede convertirse en una ventaja competitiva, fidelizando clientes y recuperando valor de productos que de otro modo se perderían.

Este tema desarrolla los componentes fundamentales de la gestión de devoluciones. En primer lugar, se aborda la clasificación de las devoluciones, un proceso crítico para determinar el destino de cada producto devuelto. En segundo lugar, se analiza la reintegración al inventario, incluyendo los criterios para decidir si un producto puede ser revendido como nuevo, como reacondicionado, o si debe pasar por un proceso de reparación. En tercer lugar, se examina la disposición final de los productos que no pueden ser reintegrados: reciclaje, donación, venta como lote o disposición como residuo. Finalmente, se analizan los costos asociados a la logística inversa, que a menudo son subestimados, y las estrategias para reducirlos.

2. La magnitud del desafío: Tasas de devolución por industria

Industria / Sector	Tasa de devolución típica	Factores que influyen
E-commerce de moda	20 % - 40 %	Tallas incorrectas, diferencias entre imagen y producto, compra de múltiples tallas para probar.
E-commerce de electrónica	5 % - 15 %	Productos defectuosos, insatisfacción con el rendimiento, devoluciones por garantía.
E-commerce de hogar / muebles	5 % - 10 %	Diferencias de color o tamaño, daños en el transporte, montaje complejo.
Retail físico (tiendas)	3 % - 8 %	Menor tasa porque el cliente ve el producto antes de comprar.
Farmacéutica	1 % - 3 %	Productos caducados, retiros de lotes, devoluciones por recall.
Industrial B2B	1 % - 5 %	Productos defectuosos, errores de envío, excedentes de inventario.

3. Clasificación de devoluciones

3.1 Definición y propósito

La clasificación (también llamada sorting o triage) es el proceso de inspeccionar cada producto devuelto para determinar su estado, identificar la causa de la devolución y asignarle un destino adecuado dentro de la cadena de logística inversa.

Propósito: Maximizar el valor recuperado de cada devolución, minimizando el tiempo que el producto permanece en el sistema y evitando disposiciones innecesarias (como desechar productos que podrían ser revendidos).

3.2 Causas comunes de devolución

Causa	Descripción	Implicación para la clasificación
Defecto de fabricación	El producto no funciona correctamente o tiene un daño de origen.	Puede requerir reparación (si es rentable) o devolución al proveedor.
Daño en el transporte	El producto llegó dañado al cliente debido a embalaje deficiente o manejo brusco.	El transportista puede ser responsable; el producto puede necesitar reparación o disposición.
Error de envío	El cliente recibió un producto diferente al que pidió.	El producto debe reintegrarse al inventario (si está en buen estado) o enviarse al cliente correcto.
Insatisfacción del cliente	El cliente no quedó conforme (color, talla, funcionalidad, expectativas no cumplidas).	El producto suele estar en buen estado y puede revenderse como nuevo (si no se usó).
Garantía / fin de vida útil	El producto dejó de funcionar después de un tiempo de uso.	Puede requerir reparación, reemplazo de partes, o disposición.
Caducidad	El producto superó su fecha de caducidad (alimentos, medicamentos, cosméticos).	Generalmente disposición final (no puede revenderse).
Retiro de mercado (recall)	El fabricante ordena la devolución por razones de seguridad.	Clasificación prioritaria; requiere trazabilidad y reporte a autoridades.

3.3 Niveles de clasificación

Nivel	Actividad	Responsable	Tiempo típico
<i>Nivel 1:</i> Inspección visual rápida	Se observa el empaque y el producto por encima para detectar daños evidentes.	Operador de recepción de devoluciones	<1 minuto por producto
<i>Nivel 2:</i> Inspección detallada	Se revisan componentes, se prueban funciones (si aplica), se verifica la integridad de accesorios y manuales.	Técnico o inspector de calidad	2-10 minutos por producto
<i>Nivel 3:</i> Prueba funcional completa	Se somete el producto a pruebas operativas (ej. encender un electrodoméstico, cargar una batería, medir precisión).	Técnico especializado	10-30 minutos por producto

El nivel de clasificación aplicado depende del valor del producto, la complejidad y la causa de la devolución. Para productos de bajo valor (ej. una camiseta), el nivel 1 puede ser suficiente; para productos de alto valor (ej. un teléfono inteligente), se justifica el nivel 2 o 3.

3.4 Categorías de clasificación

Después de la inspección, cada producto se asigna a una de las siguientes categorías:

Categoría	Descripción	Destino típico
Como nuevo (sellado)	El producto no fue abierto, conserva el empaque original sellado.	Reintegración al inventario como nuevo (misma SKU).
Como nuevo (abierto, pero no usado)	El producto fue abierto, pero no se usó (ej. se probó la talla, pero no se usó).	Reintegración al inventario como nuevo (si la política lo permite) o como “open box”.
Usado - buen estado	El producto fue usado, pero está en buenas condiciones, sin daños.	Reventa como reacondicionado o en outlet con descuento.
Usado - requiere reparación	El producto tiene daños reparables (cambiar una pieza, limpiar, calibrar).	Enviar a taller de reparación.
Usado - no reparable	El producto tiene daños irreparables o el costo de reparación supera su valor.	Reciclaje de materiales o disposición final.
Caducado	El producto superó su fecha de caducidad (aplica a alimentos, medicamentos, cosméticos).	Disposición final controlada (no puede revenderse).
Faltante de partes o accesorios	El producto está en buen estado, pero le faltan accesorios (cargador, manual, control remoto).	Se puede completar con accesorios de otros productos devueltos o vender como incompleto con descuento.

3.5 Tecnologías para la clasificación de devoluciones

Tecnología	Función	Beneficio
Estaciones de inspección con cámaras	Capturan imágenes del producto desde múltiples ángulos para documentar el estado.	Evidencia para reclamaciones a transportistas o proveedores.

Tecnología	Función	Beneficio
Lectores de códigos de barras / RFID	Identifican el producto y consultan su historial (fecha de venta, garantía, lote).	Clasificación más rápida y precisa.
Sistemas de pesaje	Comparan el peso del producto devuelto con el peso teórico para detectar faltantes.	Identificación rápida de productos incompletos.
Software de gestión de devoluciones (RMS)	Guía al operador en el proceso de clasificación, registra la categoría asignada y actualiza el inventario.	Estandarización, trazabilidad, reportes.
Inteligencia artificial para inspección visual	Algoritmos que analizan imágenes del producto para detectar daños (rasguños, abolladuras, roturas).	Clasificación automatizada, consistente, sin sesgo humano.

4. Reintegración de devoluciones

4.1 Definición y propósito

La reintegración es el proceso de incorporar nuevamente los productos devueltos al inventario disponible para la venta, ya sea como productos nuevos (si están en condiciones óptimas) o como productos reacondicionados (si han pasado por un proceso de reparación o limpieza).

Propósito: Recuperar el máximo valor posible de los productos devueltos, evitando que se conviertan en pérdida total.

4.2 Canales de reintegración

Canal	Descripción	Precio relativo	Condición requerida
Inventario regular (mismo SKU)	El producto se vende como nuevo, al mismo precio que los productos no devueltos.	100 %	Producto nunca usado, empaque intacto (o re-empaqueado profesionalmente).

Canal	Descripción	Precio relativo	Condición requerida
Open box	El producto se vende en su empaque original pero abierto; se especifica que fue devuelto, pero no usado.	70-90 %	Producto sin uso, empaque abierto, pero en buen estado.
Reacondicionado por el fabricante	El producto fue reparado, probado y certificado por el fabricante; incluye garantía reducida.	60-80 %	Producto reparado por el fabricante o un taller autorizado.
Reacondicionado por el centro de distribución	El producto fue reparado internamente (limpieza, cambio de piezas menores) pero no por el fabricante.	50-70 %	Daños menores reparables internamente.
Outlet / liquidación	El producto se vende en lotes a mayoristas de liquidación, sin garantía.	10-40 %	Producto con daños estéticos, faltante de accesorios, o lotes grandes de devoluciones no clasificadas.
Mercados secundarios (eBay, Mercado Libre)	Venta directa al consumidor en plataformas de segunda mano.	30-60 %	Producto usado pero funcional, con demanda en mercado secundario.

4.3 Proceso de reintegración

Paso	Descripción	Responsable
1. Clasificación	Se determina la categoría del producto (como nuevo, reparable, etc.).	Operador de clasificación
2. Reparación / limpieza (si aplica)	Se limpia el producto, se reemplazan piezas dañadas, se prueba funcionalidad.	Técnico de reparación
3. Reempaque (si aplica)	Se coloca el producto en un empaque nuevo o se reacondiciona el empaque original.	Operador de empaque
4. Etiquetado	Se coloca una etiqueta que indique la condición (ej. “reacondicionado”, “open box”) y, si corresponde, una nueva garantía.	Operador de etiquetado
5. Actualización del inventario	Se registra en el WMS el producto con su nueva condición, precio y ubicación.	Sistema WMS
6. Puesta a la venta	El producto se ofrece en el canal correspondiente (sitio web, tienda física, marketplace de reacondicionados).	Equipo comercial

4.4 Consideraciones legales y éticas

Aspecto	Consideración
Revelación de condición	En la mayoría de las jurisdicciones, es obligatorio informar al cliente si un producto es reacondicionado u “open box”.
Garantía	Los productos reacondicionados suelen tener una garantía reducida (ej. 90 días en lugar de 1 año).
Productos de higiene personal	Ropa interior, cosméticos de apertura, productos de higiene no pueden revenderse como nuevos una vez abiertos (normas sanitarias).
Productos regulados	Medicamentos, dispositivos médicos, productos para bebés tienen regulaciones estrictas sobre reintegración.

5. Disposición final

5.1 Definición y propósito

La disposición final es el conjunto de procesos para manejar los productos devueltos que no pueden ser reintegrados al inventario para la venta, ya sea por daños irreparables, caducidad, obsolescencia o porque el costo de reparación supera el valor recuperable.

Propósito: Minimizar el impacto ambiental, cumplir con las regulaciones y recuperar algún valor residual (materiales reciclables, energía, etc.).

5.2 Opciones de disposición final

Opción	Descripción	Recuperación de valor	Impacto ambiental
Reciclaje de materiales	Se separan los materiales (plástico, metal, vidrio, papel, componentes electrónicos) y se envían a recicladores.	Baja a media (depende del material)	Bajo (reduce extracción de materias primas)

Opción	Descripción	Recuperación de valor	Impacto ambiental
Donación	Se donan productos a organizaciones benéficas, escuelas, hospitales, etc.	Fiscal (deducción de impuestos)	Muy bajo (extiende la vida útil)
Venta como lote a recuperadores	Se venden lotes grandes de productos no clasificados a empresas que se especializan en recuperación.	Baja (por kilogramo o por lote)	Variable (depende del recuperador)
Incineración con recuperación de energía	Se queman los productos en plantas de incineración que generan electricidad o calor.	Energética (muy baja)	Alto (emisiones, aunque menor que vertedero)
Vertedero (relleno sanitario)	Disposición en vertedero autorizado.	Nula	Muy alto (contaminación de suelo y agua, emisión de metano)
Devolución al proveedor	Se devuelve el producto al fabricante o proveedor, que asume la disposición (acordado en contrato).	Variable (puede haber crédito)	Responsabilidad del proveedor

5.3 Proceso de disposición final

Paso	Descripción
1. Acumulación	Los productos clasificados como “no reintegrables” se acumulan en un área de disposición.
2. Segregación por tipo de material	Se separan plásticos, metales, vidrios, componentes electrónicos, baterías, etc.
3. Acondicionamiento	Se trituran, compactan, desmontan o desensamblan según los requisitos del reciclador.
4. Transporte a destino final	Se envían a recicladores autorizados, plantas de incineración, vertederos, o centros de donación.
5. Registro y reporte	Se documenta el volumen y tipo de materiales dispuestos para cumplir con regulaciones ambientales y objetivos de sostenibilidad.

6. Costos asociados a la logística inversa

6.1 Visibilidad de los costos de devolución

Los costos de la logística inversa son significativamente más altos que los de la logística directa y, a menudo, están subestimados o invisibilizados en los estados financieros. Mientras que el costo de enviar un producto al cliente (logística directa) es visible y se asigna al costo de venta, el costo de recibir una devolución (transporte inverso, clasificación, reintegración, disposición) suele absorberse en gastos operativos generales.

Costo de una devolución típica (e-commerce de moda): puede ser entre 1.5 y 3 veces el costo del envío original. Por ejemplo, si el envío cuesta US\$ 5, la devolución puede costar US\$ 7.50 - US\$ 15.00.

6.2 Componentes del costo de una devolución

Componente	Descripción	% del costo total (estimado)
Transporte inverso	Costo de que el cliente devuelva el producto (a menudo gratuito para el cliente, pagado por la empresa).	20-30 %
Recepción y clasificación	Mano de obra para recibir, inspeccionar y clasificar el producto devuelto.	15-25 %
Reintegración	Limpieza, reparación, reempaque, etiquetado, actualización de inventario.	20-35 %
Disposición final	Reciclaje, donación, vertedero, o devolución a proveedor.	5-15 %
Pérdida de valor del producto	Diferencia entre el precio de venta original y el valor recuperado (ej. producto reacondicionado se vende con descuento).	20-40 %
Costos administrativos	Gestión de créditos, notas de crédito, atención al cliente por la devolución.	5-10 %
Costos de oportunidad	El producto devuelto no está disponible para la venta durante el tiempo que tarda en procesarse.	Variable

6.3 Ejemplo de cálculo del costo de una devolución

Supuestos:

- Producto: chaqueta de US\$ 100
- Costo de envío original: US\$ 6
- Transporte inverso (pagado por la empresa): US\$ 8
- Mano de obra de recepción y clasificación: US\$ 4
- Producto en buen estado, pero abierto → se revende como “open box” a US\$ 75
- Costo de reempaque y etiquetado: US\$ 2

Cálculo:

Concepto	Monto (US\$)
Transporte inverso	8
Recepción y clasificación	4
Reempaque y etiquetado	2
Subtotal costos directos	14
Pérdida de valor (100 - 75)	25
Costo total de la devolución	39

Este costo (US\$ 39) representa el 39 % del valor del producto (US\$ 100). Si la empresa tiene una tasa de devolución del 25 % (típica en moda), el impacto en el margen es significativo.

6.4 Estrategias para reducir los costos de devolución

Estrategia	Descripción	Impacto estimado
Mejorar la información del producto en la tienda en línea	Fotos detalladas, videos, tablas de tallas precisas, reseñas de clientes.	Reduce devoluciones por insatisfacción (10-30 %)
Implementar herramientas de talla virtual (fit technology)	El cliente ingresa sus medidas y el sistema recomienda la talla correcta.	Reduce devoluciones por talla incorrecta (20-40 %)
Ofrecer incentivos para retener productos de bajo valor	En lugar de devolver, el cliente recibe un descuento para darse con el producto.	Reduce volumen de devoluciones (5-15 %)

Estrategia	Descripción	Impacto estimado
Centralizar las devoluciones en pocos centros especializados	En lugar de recibir devoluciones en todas las tiendas o almacenes, se concentran en uno o dos centros de logística inversa.	Reduce costos de clasificación y mejora eficiencia (15-25 %)
Automatizar la clasificación de devoluciones	Usar software de gestión de devoluciones (RMS) y, en alto volumen, sistemas automatizados de inspección visual.	Reduce mano de obra de clasificación (20-40 %)
Negociar con proveedores la absorción de costos de devolución	Acordar que el proveedor asuma el costo de las devoluciones por defectos de fabricación.	Reduce costo variable por devolución
Implementar un sistema de “devoluciones sin devolución” (returnless)	Para productos de bajo valor, se reembolsa al cliente sin pedir la devolución física.	Elimina costos de transporte inverso y clasificación (para ese producto)

7. Centro de distribución especializado en logística inversa

7.1 Características de un centro de devoluciones (returns center)

A diferencia de un centro de distribución tradicional, un centro de devoluciones (o reverse logistics center) está diseñado específicamente para manejar el flujo inverso. Sus características distintivas incluyen:

Característica	Descripción
Layout flexible	Áreas modulares que pueden reconfigurarse según el volumen y tipo de devoluciones.
Estaciones de inspección múltiples	Varias estaciones de clasificación para manejar diferentes tipos de productos simultáneamente.
Áreas de cuarentena	Espacios para aislar productos peligrosos, caducados o en espera de decisión.
Taller de reparación	Área con herramientas y equipos para reparaciones menores.

Característica	Descripción
Zona de reciclaje	Espacio para segregar materiales y compactarlos para su envío a recicladores.
Sistema RMS dedicado	Software especializado en gestión de devoluciones, con flujos de trabajo predefinidos.

8. Indicadores clave de desempeño (KPIs) para logística inversa

Indicador	Fórmula	Interpretación
Tasa de devolución	$\frac{\text{Número de unidades devueltas}}{\text{Número de unidades vendidas}} \times 100$	Objetivo: depende de la industria; comparar con benchmarks.
Costo de devolución como % de ventas	$\frac{\text{Costo total de logística inversa}}{\text{Ventas totales}} \times 100$	Objetivo: <3 % para industrias de baja devolución; <10 % para moda e-commerce.
Tiempo de ciclo de devolución	Fecha de disposición final - Fecha de recepción de la devolución	Objetivo: <7 días para productos reintegrables; <14 días para productos de disposición.
Tasa de reintegración	$\frac{\text{Valor de productos reintegrados al inventario}}{\text{Valor total de devoluciones}} \times 100$	Objetivo: >60 % para maximizar recuperación de valor.
Tasa de recuperación de valor	$\frac{\text{Valor recuperado por reintegración + reciclaje + donación}}{\text{Valor original de los productos devueltos}} \times 100$	Objetivo: >50 % en industrias con alta tasa de devolución.
Precisión de clasificación	$\frac{\text{Productos clasificados correctamente}}{\text{Total productos clasificados}} \times 100$	Objetivo: >95 % para evitar errores de destino.
Tasa de disposición final en vertedero	$\frac{\text{Peso de productos enviados a vertedero}}{\text{Peso total de productos devueltos}} \times 100$	Objetivo: <10 % para empresas con compromisos de sostenibilidad.

9. Tendencias en logística inversa

Tendencia	Descripción
Devoluciones sin devolución (returnless)	Para productos de bajo costo, se reembolsa al cliente sin solicitar la devolución física. Reduce costos de transporte y clasificación.
Devoluciones en tienda física para compras en línea (BORIS)	El cliente devuelve en tienda física productos comprados en línea; la tienda consolida las devoluciones y las envía al centro de logística inversa.
Automatización de la clasificación con IA	Sistemas de visión por computadora que clasifican productos devueltos automáticamente, con precisión superior a la humana.
Economía circular y remanufactura	En lugar de reciclar o desechar, se desmontan productos completos para reutilizar componentes en la fabricación de productos nuevos.
Blockchain para trazabilidad de devoluciones	Registro inmutable de cada devolución, desde el cliente hasta la disposición final, para auditorías y cumplimiento regulatorio.
Modelos de suscripción y alquiler	En lugar de devoluciones, los productos se alquilan o se ofrecen por suscripción, cambiando la dinámica de la logística inversa (ej. ropa por suscripción, herramientas alquiladas).

10. Resumen del tema

- La gestión de devoluciones (logística inversa) es el proceso de manejar el flujo de productos desde el cliente hacia el centro de distribución. Ha adquirido relevancia estratégica con el auge del comercio electrónico, donde las tasas de devolución pueden superar el 30 %.
- La clasificación es el primer paso crítico: se inspecciona el producto devuelto, se identifica la causa y se asigna una categoría (como nuevo, reparable, dañado, caducado, etc.). La precisión de la clasificación determina el valor que se puede recuperar.
- La reintegración incorpora los productos devueltos nuevamente al inventario para la venta, ya sea como nuevos, como “open box” o como reacondicionados. Cada canal de reintegración tiene un precio y una condición requerida diferente.

- La disposición final maneja los productos que no pueden reintegrarse, a través de reciclaje, donación, incineración con recuperación de energía o vertedero (último recurso). La jerarquía de disposición prioriza la recuperación de valor y la minimización del impacto ambiental.
- Los costos asociados a la logística inversa son significativos (1.5 a 3 veces el costo del envío original) y a menudo subestimados. Incluyen transporte inverso, mano de obra de clasificación, reintegración, pérdida de valor del producto y costos administrativos.
- Las estrategias para reducir costos incluyen mejorar la información del producto en línea, centralizar las devoluciones, automatizar la clasificación y negociar con proveedores.
- Los centros de distribución especializados en logística inversa (returns centers) tienen layouts flexibles, estaciones de inspección múltiples, talleres de reparación y sistemas RMS dedicados.
- Los indicadores clave (tasa de devolución, costo como % de ventas, tasa de reintegración, tasa de recuperación de valor) permiten monitorear y mejorar la eficiencia de la logística inversa.

Preguntas de reflexión para el estudiante

1. ¿Por qué la tasa de devolución en e-commerce de moda (20-40 %) es mucho más alta que en retail físico (3-8 %)? ¿Qué factores específicos de la compra en línea explican esta diferencia?

2. Una empresa de electrónica recibe un teléfono inteligente devuelto por “insatisfacción del cliente”. El producto está en buen estado, pero el empaque original está dañado. ¿Qué opciones de reintegración tiene? ¿En qué canal lo vendería y a qué precio relativo?

3. Explique por qué el costo de una devolución puede ser de 1.5 a 3 veces el costo del envío original. ¿Qué componentes del costo explican esta diferencia?

4. ¿En qué situaciones una empresa podría optar por una política de “devoluciones sin devolución” (returnless)? ¿Qué productos y rangos de precio son adecuados para esta estrategia?

5. Una empresa de cosméticos recibe productos devueltos que fueron abiertos, pero no usados. Por normativa sanitaria, no puede revenderlos como nuevos. ¿Qué opciones de disposición final tiene? ¿Cuál es la más sostenible?

6. ¿Cómo afecta una alta tasa de devolución al diseño de un centro de distribución? ¿Qué áreas adicionales se necesitan en comparación con un centro que solo maneja logística directa?

7. Calcule el costo total de una devolución para un producto de US\$ 50 con los siguientes datos: transporte inverso US\$ 5, mano de obra de clasificación US\$ 3, el producto se revende como reacondicionado a US\$ 30, costo de reacondicionamiento US\$ 4. ¿Qué porcentaje del valor original del producto representa el costo total?

8. ¿Qué papel juega la inteligencia artificial en la clasificación de devoluciones? ¿Qué tipo de daños o condiciones puede detectar un sistema de visión por computadora?

IV

Gestión de inventarios y tecnología

Introducción

La gestión de inventarios ha sido tradicionalmente uno de los pilares fundamentales de la administración de centros de distribución. Durante décadas, los modelos clásicos —stock de seguridad, punto de reorden, lote económico— han proporcionado el marco teórico para decidir cuánto inventario mantener y cuándo reabastecer. Sin embargo, en el entorno actual de cadenas de suministro globales, omnicanalidad y comercio electrónico, estos modelos, si bien siguen siendo vigentes, resultan insuficientes si no están apoyados por una infraestructura tecnológica robusta y por sistemas de información capaces de procesar grandes volúmenes de datos en tiempo real.

La tecnología ha transformado la gestión de inventarios de una actividad reactiva y basada en estimaciones a una actividad predictiva y basada en datos. Los sistemas de gestión de almacenes (WMS) han evolucionado desde simples registradores de ubicaciones hasta plataformas inteligentes que optimizan la asignación de espacios, calculan dinámicamente los niveles de inventario de seguridad y sugieren puntos de reorden ajustados a la variabilidad de la demanda. La identificación automática mediante códigos de barras y RFID ha reducido drásticamente los errores de registro, aumentando la precisión del inventario a niveles superiores al 99.5 %. Y la analítica de datos, alimentada por algoritmos de inteligencia artificial y machine learning, está comenzando a reemplazar los pronósticos manuales con predicciones de demanda cada vez más certeras.

Este capítulo aborda la intersección entre los modelos tradicionales de control de inventarios y las tecnologías que los hacen viables en la práctica contemporánea. Se organiza en torno a cuatro grandes bloques temáticos.

En primer lugar, se profundiza en los modelos de control de inventarios aplicados al CEDIS, revisitando conceptos como el stock de seguridad, el punto de reorden y el lote económico, pero ahora desde la perspectiva de su implementación tecnológica. Se analiza cómo los sistemas actuales calculan estos parámetros de manera dinámica, adaptándose a cambios esta-

cionales y tendencias, y cómo se integran con los pronósticos de demanda generados por algoritmos de machine learning.

En segundo lugar, se examinan las tecnologías de identificación y captura de datos que son el soporte físico de la gestión de inventarios: códigos de barras, RFID (identificación por radiofrecuencia) e IoT (Internet de las Cosas). Se explica cómo cada una de estas tecnologías contribuye a la trazabilidad en tiempo real, a la reducción de errores y a la automatización de los procesos de recepción, almacenamiento y picking.

El tercer bloque se dedica a los sistemas de gestión de almacenes (WMS, WCS, TMS) y su integración con los sistemas empresariales (ERP). Se describe la arquitectura típica de un WMS, sus módulos funcionales, y cómo se comunica con otros sistemas para proporcionar una visión unificada del inventario a lo largo de toda la cadena de suministro. Se aborda también la diferencia entre WMS (gestión de almacenes), WCS (control de almacenes, para automatización) y TMS (gestión de transporte), y cómo su integración permite una operación sincronizada.

Finalmente, se exploran las tendencias emergentes en digitalización y analítica avanzada aplicadas a la gestión de inventarios. Se presentan conceptos como los gemelos digitales del inventario (réplicas virtuales que permiten simular escenarios), la simulación de procesos de almacén para identificar cuellos de botella y el uso de inteligencia artificial para la optimización de inventarios y la detección temprana de productos de lento movimiento u obsoletos.

A lo largo del capítulo, se enfatiza que la tecnología no reemplaza el juicio humano ni los fundamentos del control de inventarios, sino que los potencia. Un WMS bien implementado no es más que una herramienta al servicio de una estrategia de inventarios bien definida.

Al finalizar este capítulo, el lector estará en condiciones de diseñar una estrategia de gestión de inventarios apoyada en tecnologías modernas, de evaluar la implementación de un WMS, y de aprovechar la analítica de datos para tomar decisiones más rápidas y precisas. En un mundo donde la velocidad y la precisión son ventajas competitivas, dominar la intersección entre inventarios y tecnología es una competencia indispensable para el profesional de la cadena de suministro del siglo XXI.

Capítulo 13

**Modelos de control de inventarios
aplicados al CEDIS: Stock de seguridad,
punto de reorden, lote económico,
inventarios cíclicos y obsoletos**

1. Introducción al control de inventarios en centros de distribución

El control de inventarios es una de las funciones más críticas dentro de la administración de un centro de distribución (CEDIS). A diferencia de las decisiones sobre infraestructura o procesos operativos, el control de inventarios impacta directamente en tres variables fundamentales: el nivel de servicio al cliente (disponibilidad de productos), los costos de mantenimiento de inventario (almacenamiento, capital inmovilizado, seguros, obsolescencia) y los costos de reabastecimiento (pedidos, transporte, recepción).

Un CEDIS que mantiene inventarios excesivos incurre en altos costos de almacenamiento y riesgo de obsolescencia, pero ofrece alta disponibilidad. Un CEDIS con inventarios insuficientes reduce costos, pero aumenta el riesgo de desabasto (stockout), pérdida de ventas e insatisfacción del cliente. El objetivo del control de inventarios es encontrar el equilibrio óptimo entre estos extremos.

Este tema desarrolla cinco modelos fundamentales de control de inventarios aplicados a centros de distribución: el stock de seguridad (amortiguador contra la variabilidad), el punto de reorden (cuándo pedir), el lote económico (cuánto pedir) y las gestiones específicas de inventarios cíclicos (conteos periódicos) e inventarios obsoletos (identificación y disposición). Cada modelo se presenta con su fundamento matemático, supuestos, aplicaciones prácticas y limitaciones.

2. Stock de seguridad (inventario de seguridad)

2.1 Definición y propósito

El stock de seguridad (también llamado inventario de seguridad o safety stock) es la cantidad adicional de inventario que se mantiene por encima de la demanda esperada para protegerse contra dos tipos de incertidumbre:

- **Variabilidad en la demanda:** Los clientes pueden pedir más de lo pronosticado en un período determinado.
- **Variabilidad en el tiempo de reabastecimiento (lead time):** Los proveedores pueden tardar más de lo previsto en entregar un pedido.

El stock de seguridad actúa como un amortiguador que evita el desabasto durante los períodos en que la demanda supera las previsiones o el reabastecimiento se retrasa. Su nivel óptimo es aquel que equilibra el costo de mantener inventario adicional contra el costo de quedarse sin stock.

2.2 Fórmula del stock de seguridad (suponiendo demanda y lead time independientes)

La fórmula más utilizada para calcular el stock de seguridad asume que la demanda y el lead time son variables aleatorias independientes con distribución normal:

$$SS = z \times \sqrt{\sigma_d^2 \times LT + (d^2 \times \sigma_{LT}^2)}$$

Donde:

- SS = Stock de seguridad (en unidades del producto)
- z = Factor de servicio (número de desviaciones estándar correspondiente al nivel de servicio deseado)
- σ_d = Desviación estándar de la demanda diaria (o por período)
- LT = Tiempo de reabastecimiento promedio (lead time en días)
- d = Demanda promedio diaria
- σ_{LT} = Desviación estándar del tiempo de reabastecimiento

2.3 Factor de servicio (z) y nivel de servicio

El factor de servicio (z) se selecciona según el nivel de servicio que la empresa desea ofrecer a sus clientes. Un nivel de servicio del 95 % significa que se espera que el 95 % de los pedidos se surtan sin desabasto (es decir, solo el 5 % de los ciclos de reabastecimiento experimentarán un faltante).

Nivel de servicio deseado	Factor z
90 %	1.28
95 %	1.65
97 %	1.88
99 %	2.33
99.9 %	3.09

Nota: Para productos de alta criticidad (ej. repuestos de maquinaria hospitalaria), se utilizan niveles de servicio del 99.9 % o superiores, lo que eleva significativamente el stock de seguridad.

3. Punto de reorden (Reorder Point - ROP)

3.1 Definición y propósito

El punto de reorden (ROP) es el nivel de inventario que, al ser alcanzado, activa la emisión de un nuevo pedido de reabastecimiento al proveedor o a un centro de distribución superior. Su propósito es asegurar que el inventario no se agote durante el tiempo que transcurre entre la emisión del pedido y su recepción (lead time).

Mientras que el stock de seguridad protege contra la variabilidad, el punto de reorden define cuándo se debe pedir.

3.2 Fórmula del punto de reorden

$$ROP = (d \times LT) + SS$$

Donde:

- d = Demanda promedio diaria (o por período)
- LT = Tiempo de reabastecimiento promedio (lead time en las mismas unidades de tiempo)
- SS = Stock de seguridad (calculado como en la sección anterior)

3.3 Ejemplo de cálculo (continuación del caso anterior)

Retomando el ejemplo del centro de distribución de repuestos automotrices:

- $d=50$ unidades/día
- $LT=5$ días
- $SS=90$ unidades

$$ROP=(50 \times 5)+90=250+90=340 \text{ unidades}$$

Interpretación: Cuando el inventario disponible llegue a 340 unidades, se debe emitir un nuevo pedido al proveedor. Durante los 5 días de lead time, se espera vender 250 unidades (50×5), y las 90 unidades restantes corresponden al stock de seguridad que amortigua cualquier variabilidad.

3.4 Consideraciones prácticas para el ROP

El ROP es dinámico. Debe recalcularse periódicamente porque:

- La demanda promedio (d) cambia con las tendencias del mercado y la estacionalidad.
- El lead time (LT) puede variar por cambios en el proveedor, el transporte o la aduana.
- El nivel de servicio objetivo puede ajustarse según la criticidad del SKU.

En centros de distribución modernos, el cálculo del ROP está automatizado en el WMS o en el sistema ERP, que actualiza los parámetros semanal o mensualmente.

3.5 Diferencia entre ROP y sistema de revisión periódica

Existen dos enfoques principales para gestionar cuándo pedir:

Enfoque	Característica	Cálculo del momento de pedido
Sistema de punto de reorden (ROP)	Se monitorea continuamente el inventario. Se pide cuando se alcanza un nivel umbral.	Variable (depende de la demanda real)
Sistema de revisión periódica	Se revisa el inventario en intervalos fijos (ej. cada semana). Se pide la cantidad necesaria para llegar a un nivel objetivo.	Fijo (cada período)

El sistema ROP es más eficiente para SKU de alta rotación y demanda variable. El sistema de revisión periódica es más simple de administrar para SKU de baja rotación.

4. Lote económico (Economic Order Quantity - EOQ)

4.1 Definición y propósito

El lote económico (EOQ) es el tamaño de pedido que minimiza el costo total anual de inventario, balanceando dos tipos de costos que tienen comportamientos opuestos:

- **Costo de emisión de pedido (costo de ordenar):** Incluye el costo administrativo de generar la orden de compra, el costo de transporte del pedido y el costo de recepción. Este costo disminuye por unidad cuando se piden lotes más grandes (porque hay menos pedidos al año).
- **Costo de mantenimiento de inventario (costo de mantener):** Incluye el costo de capital inmovilizado, almacenamiento, seguros y riesgo de obsolescencia. Este costo aumenta por unidad cuando se piden lotes más grandes (porque el inventario promedio es mayor).

El EOQ encuentra el punto donde la suma de ambos costos es mínima.

4.2 Fórmula del EOQ (modelo básico)

El modelo básico de EOQ asume:

- Demanda constante y conocida
- Lead time constante
- Recepción instantánea del pedido (todo el lote llega junto)
- Sin restricciones de capacidad de almacenamiento
- Sin descuentos por volumen (precio unitario constante)

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \times D \times S}{H}}$$

Donde:

- D = Demanda anual (en unidades)
- S = Costo de emisión de un pedido (en unidades monetarias)
- H = Costo de mantenimiento de inventario por unidad por año (en unidades monetarias)

4.3 Limitaciones del EOQ básico y extensiones

Limitación	Extensión del modelo
Demanda constante	EOQ con demanda variable: usar demanda promedio o modelos estocásticos
Precio unitario constante	EOQ con descuentos por volumen: calcular EOQ para cada tramo de precio y seleccionar el que minimice costo total incluyendo el costo del producto
Capacidad de almacenamiento infinita	EOQ con restricción de capacidad: si $EOQ >$ espacio disponible, pedir el máximo que quepa
Recepción instantánea	EOQ con producción / recepción gradual: considerar que el inventario se acumula mientras llega el pedido
Producto único	EOQ para múltiples productos con restricciones: usar programación matemática

4.4 EOQ en centros de distribución: aplicaciones prácticas

En un CEDIS, el EOQ es útil para:

- Productos de demanda estable (ej. materiales de empaque, consumibles de oficina, productos de limpieza)
- Reabastecimiento desde proveedores externos donde el costo de emisión es significativo
- Decisiones de centralización vs. descentralización: el EOQ ayuda a cuantificar el ahorro por consolidación de inventarios

Sin embargo, para productos de alta variabilidad (ej. moda, electrónica de consumo), el EOQ debe complementarse con modelos de inventario más sofisticados (como el modelo de lote económico con demanda probabilística o el modelo de revisión periódica).

5. Inventarios cíclicos (conteo cíclico)

5.1 Definición y propósito

El inventario cíclico (o conteo cíclico) no es un modelo de control de inventarios en el sentido de dimensionamiento, sino un método de auditoría que consiste en contar físicamente una parte del inventario cada día, de modo que todo el inventario se cuente un número determinado de veces al año, sin necesidad de paralizar las operaciones para un inventario anual masivo.

Propósito: Mantener la precisión del inventario registrado en el sistema (WMS/ERP) respecto al inventario físico real, detectar y corregir errores (robos, extravíos, errores de registro, put-away incorrecto), y mejorar la confiabilidad de los modelos de control de inventarios (stock de seguridad, punto de reorden, EOQ), que dependen de datos precisos.

5.2 Métodos de selección de SKU para conteo cíclico

Método	Descripción	Aplicación
Conteo por clase ABC	Los SKU clase A (mayor valor/rotación) se cuentan con mayor frecuencia (ej. 6-12 veces al año), la clase B con frecuencia media (ej. 3-4 veces), la clase C con baja frecuencia (ej. 1-2 veces).	El más común en centros de distribución.
Conteo por ubicación	Se cuentan todas las ubicaciones de una zona específica del almacén en un día determinado.	Útil para detectar errores localizados en un área.
Conteo por ciclo de actividad	Se cuentan los SKU que han tenido movimiento (recepción o picking) en el último periodo.	Enfoca los recursos donde hay más probabilidad de error.
Conteo aleatorio	Se seleccionan SKU al azar para auditar.	Complementario a otros métodos; detecta errores sistémicos no capturados.

5.3 Frecuencia de conteo cíclico

La frecuencia de conteo se expresa en número de conteos por SKU por año. La siguiente relación muestra frecuencias típicas según la clasificación ABC:

- **Clase A (80 % del valor, 20 % de los SKU):** 6 a 12 conteos por año (cada 1-2 meses)
- **Clase B (15 % del valor, 30 % de los SKU):** 3 a 4 conteos por año (cada 3-4 meses)
- **Clase C (5 % del valor, 50 % de los SKU):** 1 a 2 conteos por año (cada 6-12 meses)

5.4 Proceso de conteo cíclico

- **Selección de SKU a contar:** El sistema WMS genera una lista de SKU según la metodología elegida.
- **Preparación:** Se notifica a los operadores que no deben mover productos de esas ubicaciones durante el conteo (o se congela el movimiento temporalmente).
- **Conteo físico:** Uno o dos operadores cuentan las unidades en la ubicación.
- **Registro:** El resultado se ingresa en el WMS.
- **Comparación:** El WMS compara el conteo físico con el registro teórico.
- **Investigación de discrepancias:** Si hay diferencia, se investiga la causa (error de registro, extravío, put-away incorrecto, robo).
- **Ajuste:** Se corrige el inventario en el WMS si corresponde.
- **Acción correctiva:** Si se identifica una causa sistemática, se implementa una mejora en el proceso.

5.5 Precisión del inventario: métrica clave

La precisión del inventario se mide como:

$$\text{Precisión} = \left(1 - \frac{\text{Número de SKU con error}}{\text{Total de SKU contados}}\right) \times 100$$

Un centro de distribución de clase mundial mantiene una precisión del inventario superior al 99.5 % para los SKU clase A, y superior al 99 % para el total del inventario.

5.6 Beneficios del conteo cíclico

- **Sin interrupción de operaciones:** A diferencia del inventario anual, que requiere detener el almacén.
- **Detección temprana de problemas:** Los errores se corrigen en días, no en meses.
- **Mejora continua:** Cada discrepancia es una oportunidad de mejora de proceso.
- **Mayor confianza en los modelos de inventario:** Los cálculos de stock de seguridad, ROP y EOQ son más confiables con inventario preciso.
- **Cumplimiento normativo:** Requerido en industrias como la farmacéutica y la alimenticia.

6. Inventarios obsoletos

6.1 Definición y clasificación

El inventario obsoleto (también llamado dead stock u obsolescence) se refiere a productos que han perdido su valor comercial o utilidad porque:

- **Obsolescencia técnica:** Un modelo más nuevo o tecnología superior ha reemplazado al producto (ej. teléfonos móviles de generaciones anteriores).
- **Obsolescencia comercial:** El producto ya no se demanda porque cambió la moda, la temporada, o las preferencias del consumidor (ej. ropa de temporada pasada).
- **Caducidad:** El producto superó su fecha de caducidad (alimentos, medicamentos).
- **Daño:** El producto está dañado y no es reparable.
- **Exceso de inventario:** Hay más unidades de las que se pueden vender antes de que se deterioren o queden obsoletos.

6.2 Clasificación por antigüedad y rotación

Una forma común de clasificar el inventario obsoleto o de lento movimiento es por su antigüedad (días desde la última venta o desde la recepción) y su rotación:

- **Inventario activo:** Se ha vendido al menos una vez en los últimos 30-90 días (depende del producto).
- **Inventario de lento movimiento:** No se ha vendido en 90-180 días, pero tiene potencial de venta futura.
- **Inventario obsoleto:** No se ha vendido en más de 180-365 días y no hay expectativa de venta futura.
- **Inventario muerto:** No se ha vendido en más de 365 días y tiene valor de recuperación nulo o muy bajo.

6.3 Identificación y monitoreo

El WMS o ERP debe generar reportes periódicos de inventario de lento movimiento y obsoleto con los siguientes indicadores:

- Días sin movimiento (última fecha de picking)
- Días en inventario (antigüedad desde la recepción)
- Rotación anual (unidades vendidas / inventario promedio)
- Valor del inventario (costo o precio de venta)

Una práctica común es el análisis ABC por rotación, que complementa el análisis ABC por valor. Un SKU puede ser clase A por valor (caro) pero clase C por rotación (baja rotación), lo que indica alto riesgo de obsolescencia.

6.4 Estrategias de disposición de inventario obsoleto

Una vez identificado el inventario obsoleto, el centro de distribución debe decidir su destino. Las opciones se ordenan de mayor a menor recuperación de valor:

Estrategia	Descripción	Recuperación de valor
Devolución al proveedor	Si está acordado en contrato, el proveedor acepta la devolución (total o parcial) a cambio de un crédito.	Media a alta
Venta con descuento	Se ofrece el producto a precios reducidos en canales secundarios (outlet, liquidación, mercado de reacondicionados).	Media
Donación	Se dona a organizaciones benéficas, obteniendo una deducción fiscal.	Fiscal (no monetaria directa)
Reciclaje de materiales	Se desensambla el producto y se recuperan materiales (plástico, metal, componentes).	Baja
Disposición como residuo	Último recurso. Se envía a vertedero o incineración (si la normativa lo permite).	Nula

6.5 Prevención del inventario obsoleto

La mejor gestión del inventario obsoleto es prevenirlo. Las estrategias preventivas incluyen:

- **Modelos de inventario más ajustados:** Reducir el stock de seguridad y el lote económico para SKU con alta obsolescencia.
- **Políticas de devolución con proveedores:** Acordar cláusulas de devolución para productos de baja rotación.
- **Análisis de ciclo de vida del producto:** Para productos de temporada o tecnología, planificar la liquidación antes de la obsolescencia.
- **Pronósticos de demanda más precisos:** Utilizar técnicas de machine learning para mejorar la predicción.
- **Gestión de inventarios por lote y caducidad (FEFO):** Priorizar la salida de productos con caducidad cercana.

6.6 Impacto financiero del inventario obsoleto

El inventario obsoleto tiene un impacto directo en los estados financieros de la empresa. Cuando se identifica un producto como obsoleto, se debe provisionar (reconocer una pérdida) por el valor no recuperable. La provisión por obsolescencia se calcula como:

$$\text{Provisión} = \text{Cantidad obsoleta} \times (\text{Costo unitario} - \text{Valor de recuperación esperado})$$

Un centro de distribución eficiente mantiene el inventario obsoleto por debajo del 1-2 % del valor total del inventario. Tasas superiores indican problemas en la gestión de inventarios o en la planificación de compras.

7. Resumen del tema

- El stock de seguridad protege contra la variabilidad en la demanda y el tiempo de reabastecimiento. Su nivel óptimo depende del nivel de servicio deseado (z), la desviación estándar de la demanda (σ_d), el lead time (LT) y la variabilidad del lead time (σ_{LT}).
- El punto de reorden (ROP) define el nivel de inventario que activa un nuevo pedido. Se calcula como la demanda durante el lead time más el stock de seguridad.
- El lote económico (EOQ) minimiza el costo total anual de inventario, balanceando el costo de emisión de pedido y el costo de mantenimiento. Su fórmula básica es $EOQ = \sqrt{2DS/H}$.
- Los inventarios cíclicos (conteo cíclico) son un método de auditoría continua que mantiene la precisión del inventario sin paralizar las operaciones. La frecuencia de conteo se define por la clasificación ABC.
- El inventario obsoleto representa productos sin valor comercial. Se identifica por antigüedad y baja rotación. Su gestión incluye devolución al proveedor, venta con descuento, donación, reciclaje o disposición final.
- Los cinco modelos se integran en un ciclo continuo de control de inventarios, donde la precisión de los datos (alimentada por el conteo cíclico) es fundamental para la validez de los cálculos.

Preguntas de reflexión para el estudiante

1. ¿Por qué el stock de seguridad aumenta más que proporcionalmente cuando se incrementa el nivel de servicio del 95 % al 99 %? ¿Qué implicación tiene esto para productos de bajo margen?

2. En un centro de distribución con proveedores muy confiables (lead time constante), ¿cómo se simplifica la fórmula del stock de seguridad? ¿Qué riesgo persiste?

3. ¿Qué sucede con el punto de reorden (ROP) si la demanda promedio aumenta un 20 % pero el lead time se reduce un 20 %? ¿El ROP aumenta, disminuye o queda igual? Realice el análisis cualitativo.

4. Una empresa con alta estacionalidad (picos de demanda en noviembre-diciembre) utiliza EOQ calculado con la demanda anual promedio. ¿Qué problema puede enfrentar en temporada alta? ¿Cómo se ajusta el modelo?

5. ¿Por qué el conteo cíclico es preferible a un inventario anual masivo en un centro de distribución de alto volumen? Mencione al menos tres razones.

6. Un SKU de clase C (baja rotación) tiene un EOQ calculado de 500 unidades, pero su rotación anual es de solo 0.5 veces (el inventario se renueva cada 2 años). ¿Qué riesgo de obsolescencia tiene este SKU? ¿Cómo se debe ajustar la política de pedido?

7. ¿Cómo afecta la existencia de inventario obsoleto no identificado al cálculo del stock de seguridad y del punto de reorden? ¿Por qué es importante identificarlo y provisionarlo?

Capítulo 14

Tecnologías de identificación: Códigos de barras, RFID (identificación por radiofrecuencia), IoT (internet de las cosas) para trazabilidad

1. Introducción a las tecnologías de identificación

La gestión precisa y en tiempo real del inventario es imposible sin la capacidad de identificar de manera única y rápida cada producto, caja, pallet o ubicación dentro de un centro de distribución. Las tecnologías de identificación son el puente entre el mundo físico (productos moviéndose por el almacén) y el mundo digital (registros en el WMS, ERP o sistemas de trazabilidad). Sin ellas, cada escaneo manual, cada anotación en papel o cada conteo visual estaría sujeto a errores que se propagan a lo largo de toda la cadena de suministro.

Este tema desarrolla tres tecnologías que han marcado hitos en la evolución de la identificación de productos. La primera, los códigos de barras, es la tecnología más extendida y madura, de bajo costo y alta confiabilidad. La segunda, la RFID (identificación por radiofrecuencia), representa un salto cualitativo al permitir la lectura masiva y sin línea de visión. La tercera, el IoT (Internet de las Cosas), va más allá de la simple identificación para incorporar sensores que monitorean condiciones ambientales, ubicación en tiempo real y estado de los productos.

Cada tecnología tiene sus fortalezas, debilidades y campos de aplicación. El conocimiento de sus principios de funcionamiento permite al profesional de la cadena de suministro seleccionar la combinación adecuada para cada contexto operativo, equilibrando costo, precisión, velocidad y requerimientos de trazabilidad.

2. Códigos de barras

2.1 Principio de funcionamiento

El código de barras es un sistema de representación de datos mediante un patrón de barras paralelas de diferentes anchos y espacios, que puede ser leído por un escáner óptico. La luz del escáner incide sobre el código; las barras oscuras absorben la luz y los espacios claros la reflejan. El escáner

convierte este patrón de reflexión en una señal eléctrica que es decodificada en el número o texto que representa.

2.2 Tipos principales de códigos de barras

Existen dos grandes familias de códigos de barras, con múltiples variantes dentro de cada una:

Códigos lineales (1D):

- **Código 39:** El más antiguo, de longitud variable, usado en aplicaciones industriales y de defensa.
- **Código 128:** Alta densidad de información, muy utilizado en logística y distribución.
- **EAN-13 / UPC-A:** Estándares para productos de consumo en Europa y Norteamérica, respectivamente; se encuentran en casi todos los productos de supermercado.
- **Interleaved 2 of 5:** Usado en aplicaciones de almacenamiento y distribución para códigos numéricos.

Códigos bidimensionales (2D):

- **Código QR:** Almacena información en dos dimensiones (cuadrados blancos y negros en una matriz). Puede contener cientos de veces más información que un código lineal, incluyendo URL, texto y datos estructurados.
- **Data Matrix:** Similar al QR, pero más compacto; muy utilizado en electrónica, farmacia y aplicaciones donde el espacio de impresión es limitado.
- **PDF417:** Código bidimensional apilado que puede almacenar grandes cantidades de texto; usado en documentos de identificación y tarjetas de embarque.

2.3 Ventajas y limitaciones de los códigos de barras

Ventajas:

- **Costo extremadamente bajo:** Imprimir una etiqueta con código de barras cuesta fracciones de centavo.
- **Madurez tecnológica:** Estándares bien establecidos, equipos disponibles de múltiples fabricantes.

- **Confiabilidad:** Tasas de error de lectura muy bajas (menos de 1 error por millón de lecturas en condiciones óptimas).
- **Independencia de baterías:** Las etiquetas no requieren energía.

Limitaciones:

- **Línea de visión obligatoria:** El escáner debe “ver” el código; los productos mal orientados no se leen.
- **Lectura uno a uno:** No se pueden leer múltiples códigos simultáneamente.
- **Susceptible a daños físicos:** Una etiqueta rasgada, sucia o borrosa puede ser ilegible.
- **Requiere intervención humana (excepto en lectores fijos automatizados):** Un operador debe apuntar el escáner.

2.4 Aplicaciones en centros de distribución

Los códigos de barras son ubicuos en los centros de distribución modernos:

- **Identificación de ubicaciones:** Cada estantería, nivel y posición tiene una etiqueta con código de barras que se escanea durante el put-away y el picking.
- **Identificación de productos:** Cada SKU tiene un código EAN/UPC o un código interno impreso en la etiqueta del producto o en la caja.
- **Identificación de pallets y contenedores:** Etiquetas SSCC (Serial Shipping Container Code) basadas en estándar GS1-128.
- **Documentación:** Las órdenes de compra, albaranes y guías de remisión incluyen códigos de barras para su escaneo y registro automático.

3. RFID (Identificación por Radiofrecuencia)

3.1 Principio de funcionamiento

La RFID (Radio Frequency Identification) es una tecnología que utiliza ondas de radio para identificar y rastrear objetos de manera automática. Un sistema RFID consta de tres componentes principales:

1. **Etiqueta RFID (tag):** Un pequeño dispositivo que contiene un chip con memoria y una antena. Puede ser pasiva (sin batería, alimentada por la energía de la onda de radio del lector) o activa (con batería propia).
2. **Lector RFID (reader):** Dispositivo que emite ondas de radio y recibe las señales de retorno de las etiquetas. Puede ser fijo (en puertas, transportadores) o portátil (handheld).
3. **Antena:** Conectada al lector, emite y recibe las señales.

Cuando una etiqueta RFID entra en el campo electromagnético del lector, la antena de la etiqueta capta energía (en el caso de etiquetas pasivas) que alimenta el chip. El chip modula la señal y transmite su identificador único (UID) y, opcionalmente, datos almacenados en su memoria.

3.2 Tipos de etiquetas RFID

Etiquetas pasivas:

- **Alimentación:** Sin batería; se alimentan de la energía de la onda del lector.
- **Alcance:** Típicamente, de unos pocos centímetros a 10-12 metros (depende de la frecuencia y potencia del lector).
- **Memoria:** Limitada (generalmente solo un UID y unos pocos cientos de bytes).
- **Costo:** Muy bajo (desde centavos de dólar por unidad en grandes volúmenes).
- **Durabilidad:** Pueden ser muy delgadas y flexibles, integrables en etiquetas adhesivas.

Etiquetas activas:

- **Alimentación:** Batería interna.
- **Alcance:** Mucho mayor (decenas o cientos de metros).
- **Memoria:** Mayor capacidad; pueden incluir sensores (temperatura, humedad, vibración).
- **Costo:** Alto (varios dólares por unidad).
- **Durabilidad:** Mayor tamaño y peso; vida útil limitada por la batería (3-5 años).

Etiquetas semipasivas (BAP - Battery-Assisted Passive):

- **Alimentación:** Batería para alimentar el chip, pero usa la onda del lector para comunicarse.
- **Alcance:** Intermedio.
- **Costo:** Intermedio.

3.3 Ventajas de RFID frente a códigos de barras

- **Lectura sin línea de visión:** Las etiquetas pueden leerse, aunque estén dentro de cajas, ocultas o mal orientadas.
- **Lectura masiva:** Un solo lector puede leer cientos de etiquetas por segundo, permitiendo leer todo el contenido de un pallet sin desempaquetar.
- **Robustez:** Las etiquetas RFID son más resistentes a la suciedad, humedad y rasguños que los códigos de barras impresos.
- **Capacidad de escritura:** Muchas etiquetas RFID permiten almacenar y actualizar información (ej. estado del producto, fecha de caducidad, historial de ubicaciones).
- **Automatización:** La lectura se puede realizar sin intervención humana (ej. al pasar un pallet por un portal RFID).

3.4 Limitaciones de RFID

- **Costo:** Aunque ha bajado drásticamente, una etiqueta RFID UHF sigue siendo más cara que una etiqueta de código de barras impresa.
- **Interferencias:** Metales y líquidos absorben o reflejan las ondas de radio, dificultando la lectura de etiquetas en productos como latas de bebida o botellas de agua.
- **Estándares menos maduros:** Aunque existen estándares (EPC Global, ISO), la interoperabilidad entre diferentes fabricantes puede ser un desafío.
- **Privacidad y seguridad:** Las etiquetas pueden ser leídas sin el conocimiento del portador, lo que plantea preocupaciones de privacidad en aplicaciones de consumo.
- **Inversión en infraestructura:** Se requieren lectores, antenas, impresoras de etiquetas RFID y middleware para gestionar los datos.

3.5 Aplicaciones en centros de distribución

- **Recepción de pallets:** Al pasar un pallet por un túnel RFID, se leen todas las etiquetas de las cajas, verificando automáticamente el contenido contra la orden de compra.
- **Control de inventario en tiempo real:** Estanterías equipadas con antenas RFID detectan qué productos están presentes y cuáles han sido retirados.
- **Prevención de errores en picking:** El operador coloca los productos en un contenedor con antena RFID; el sistema confirma automáticamente que los productos correctos fueron seleccionados.
- **Trazabilidad de devoluciones:** Al llegar un producto devuelto, la etiqueta RFID permite identificar su origen, fecha de venta y condición original.
- **Localización de activos:** Carretillas, contenedores retornables y equipos se equipan con etiquetas RFID activas o pasivas para su seguimiento dentro del almacén.

3.6 Caso ilustrativo: el túnel RFID en recepción

En un centro de distribución de retail, un camión descarga pallets en el área de recepción. Cada pallet contiene 50 cajas de diferentes SKU, cada caja con una etiqueta RFID UHF. El pallet se introduce en un túnel RFID (estructura con antenas en las cuatro caras). En menos de 2 segundos, el lector capta los identificadores de las 50 cajas, los compara con la orden de compra y genera un reporte de recepción con 100 % de precisión, sin que ningún operador haya tenido que escanear individualmente cada caja. Si una caja no debería estar en ese pallet (error del proveedor), el sistema alerta inmediatamente.

4. IoT (Internet de las Cosas) para trazabilidad

4.1 Definición y principios

El Internet de las Cosas (IoT) se refiere a la red de objetos físicos (dispositivos, vehículos, productos, sensores) que están integrados con electrónica, software y conectividad a internet, permitiéndoles recopilar, procesar y transmitir datos. En el contexto de un centro de distribución, el IoT va más

allá de la simple identificación (que ya proveen códigos de barras y RFID) para incorporar sensores que miden condiciones ambientales, localización en tiempo real y comunicación bidireccional con sistemas centrales.

Mientras que una etiqueta RFID pasiva solo responde cuando un lector la interroga, un dispositivo IoT puede reportar información de manera autónoma, periódica o basada en eventos (ej. “la temperatura superó los 8 °C”).

4.2 RTLS (Sistemas de Localización en Tiempo Real)

El RTLS (Real-Time Location System) es una aplicación específica del IoT que permite determinar la posición de objetos o personas dentro de un edificio con precisión de metros o centímetros. A diferencia del GPS (que no funciona bien en interiores), el RTLS utiliza tecnologías como:

- **Ultra Wide Band (UWB):** Alta precisión (10-30 cm), utilizado para localización de activos de alto valor.
- **Wi-Fi:** Precisión media (3-5 m), aprovecha la infraestructura Wi-Fi existente.
- **Bluetooth Low Energy (BLE):** Precisión media (1-3 m), baja energía, utilizado en balizas (beacons).

Aplicaciones del RTLS en un CEDIS:

- Localización de montacargas para optimizar rutas y reducir tiempos de espera.
- Seguimiento de contenedores retornables para evitar pérdidas.
- Zonas geográficas virtuales (geofencing): alerta si un producto de alto valor sale de un área autorizada.
- Optimización de flujos: análisis de calor de movimiento para rediseñar layout.

4.3 Cadena de frío y sensores IoT

Una de las aplicaciones más críticas del IoT en centros de distribución es el monitoreo de la cadena de frío (productos que requieren temperatura controlada). Los sensores IoT permiten:

- **Monitoreo continuo:** La temperatura de cada cámara o vehículo refrigerado se registra cada pocos minutos.

- **Alertas en tiempo real:** Si la temperatura supera un umbral crítico, se envía una alerta al supervisor por SMS o correo.
- **Registro para auditorías:** Historial de temperatura durante todo el tiempo que el producto permanece en el CEDIS, demostrando el cumplimiento de normas (ej. FDA, ISO 22000).
- **Trazabilidad por lote:** Cada lote de producto puede tener su propio sensor (o compartir el sensor del contenedor) que documenta su exposición a temperaturas no adecuadas.

4.4 Ventajas del IoT en la gestión de inventarios

- **Visibilidad en tiempo real:** No más "inventario teórico" vs. "inventario real"; el sistema sabe dónde está cada producto en cada momento.
- **Automatización de procesos:** La lectura automática de sensores elimina tareas manuales como escaneo o conteo.
- **Detección temprana de problemas:** Una puerta de cámara frigorífica dejada abierta, una vibración excesiva en un producto frágil o un movimiento no autorizado en zona de alto valor son detectados al instante.
- **Optimización basada en datos:** Los patrones de movimiento de montacargas, las zonas de mayor congestión y los horarios de mayor actividad pueden analizarse para mejorar la eficiencia.
- **Cumplimiento normativo:** Los registros automáticos de temperatura, humedad y manipulación sirven como evidencia para auditorías.

4.5 Limitaciones y desafíos del IoT

- **Costo de implementación:** Sensores, gateways, plataformas de análisis y personal especializado requieren inversión significativa.
- **Gestión de datos masivos:** Un CEDIS con cientos de sensores puede generar terabytes de datos al año; se requieren plataformas de análisis escalables.
- **Ciberseguridad:** La conectividad a internet abre vectores de ataque; los sistemas deben diseñarse con seguridad desde el origen.
- **Duración de baterías:** Los dispositivos IoT con baterías (etiquetas activas, sensores) requieren mantenimiento periódico.

- **Estandarización:** Falta de estándares universales para interoperabilidad entre diferentes fabricantes de sensores y plataformas.

5. Integración de tecnologías: el espectro de la trazabilidad

Las tres tecnologías no son mutuamente excluyentes. En un centro de distribución moderno, coexisten y se complementan según el nivel de trazabilidad requerido y el costo que se esté dispuesto a asumir.

5.1 Escenarios de integración típicos

Escenario 1: CEDIS básico (bajo costo):

- **Identificación de productos:** Códigos de barras 1D impresos en etiquetas.
- **Identificación de ubicaciones:** Códigos de barras en estanterías.
- **Lectura:** Terminales RF handheld.
- **Trazabilidad:** Por lote, mediante escaneo manual en cada transacción.

Escenario 2: CEDIS de retail de volumen medio:

- **Productos de alta rotación (clase A):** Etiquetas RFID UHF en cajas.
- **Productos de rotación media (clase B):** Códigos de barras 2D.
- **Productos de baja rotación (clase C):** Códigos de barras 1D.
- **Lectura:** Túneles RFID en recepción, portales en expedición, terminales RF para excepciones.

Escenario 3: CEDIS farmacéutico o de alimentos perecederos:

- **Todos los productos:** RFID UHF para identificación.
- **Contenedores y pallets:** Etiquetas RFID activas o semipasivas con sensor de temperatura.
- **Cámaras frigoríficas:** Sensores IoT de temperatura y humedad con alertas en tiempo real.
- **Vehículos de reparto:** Sensores IoT con GPS y temperatura, transmitiendo datos vía celular.
- **Trazabilidad:** Completa, desde la recepción hasta la entrega, con registros inmutables para auditoría.

Escenario 4: CEDIS de e-commerce de alta tecnología:

- **Productos pequeños:** Códigos QR impresos en cada unidad (legibles por el cliente para devoluciones).
- **Bandejas de picking:** Etiquetas RFID para seguimiento dentro del sistema de transporte.
- **Robots AMR:** Sensores IoT para localización y navegación autónoma.
- **Estaciones de empaque:** Lectores fijos que verifican el contenido de la caja mediante RFID antes de sellar.

6. Trazabilidad: más allá de la identificación

La trazabilidad es la capacidad de seguir el historial, la aplicación o la localización de un producto a lo largo de la cadena de suministro. Las tecnologías de identificación (códigos de barras, RFID, IoT) son los habilitadores físicos de la trazabilidad, pero la trazabilidad también requiere:

- **Estandarización de datos:** Códigos globales (GTIN, SSCC, GLN) que permitan identificar productos, unidades logísticas y ubicaciones de manera única en todo el mundo.
- **Sistemas de información:** WMS, ERP y plataformas de trazabilidad que registren cada evento (recepción, almacenamiento, picking, expedición).
- **Integración con socios:** Intercambio electrónico de datos (EDI) o APIs para que proveedores y clientes compartan información de trazabilidad.

6.1 Niveles de trazabilidad

Nivel	Descripción	Tecnología típica
Trazabilidad de lote	Se sabe qué lote de producción o qué orden de compra corresponde a un producto, pero no se distingue cada unidad individual.	Códigos de barras con número de lote
Trazabilidad de unidad	Cada unidad individual tiene un identificador único (serializado).	Códigos 2D, RFID con UID único
Trazabilidad de condición	Además del identificador, se registran condiciones ambientales (temperatura, humedad, impactos) durante todo el trayecto.	IoT con sensores
Trazabilidad en tiempo real	La ubicación y condición del producto se conocen en tiempo real, no solo al escanearlo.	RTLS, IoT activo

6.2 Caso de trazabilidad: retiro de producto (recall)

Una de las situaciones donde la trazabilidad es más crítica es el retiro de producto (recall). Si un lote de alimento resulta contaminado, el centro de distribución debe ser capaz de:

1. Identificar rápidamente todas las unidades de ese lote que aún están en el inventario.
2. Localizar en qué ubicaciones del almacén se encuentran.
3. Identificar a qué clientes ya fueron enviadas las unidades de ese lote.
4. Comunicarse con esos clientes para que retiren el producto.

Con códigos de barras y un WMS bien implementado, este proceso puede tomar horas. Con RFID y trazabilidad de unidad, puede tomar minutos. Sin trazabilidad, el centro de distribución podría tener que retirar todo el inventario de ese SKU (incluyendo lotes no afectados), generando pérdidas enormes.

7. Tendencias futuras

Tendencia	Descripción
Códigos de barras invisibles	Impresos con tintas invisibles o grabados con láser, legibles solo con luz infrarroja o ultravioleta, para evitar falsificaciones.
RFID impresa (printed electronics)	Etiquetas RFID producidas mediante impresión de tintas conductoras, reduciendo drásticamente el costo y permitiendo RFID desechable en productos de bajo valor.
Sensor-etiqueta híbridos	Etiquetas RFID que integran sensores de temperatura, humedad o gas, alimentadas por la energía del lector (sin batería).
Digital Product Passport (DPP)	Pasaporte digital del producto, accesible mediante QR o NFC, que contiene toda su historia (fabricación, materiales, reparaciones, reciclabilidad).
Blockchain para trazabilidad	Registro inmutable y descentralizado de cada evento en la cadena de suministro, imposible de alterar, para garantizar autenticidad y procedencia ética.

8. Resumen del tema

- Las tecnologías de identificación son el soporte físico de la gestión de inventarios y la trazabilidad en los centros de distribución.
- Los códigos de barras son la tecnología más madura y de menor costo. Los códigos 2D (QR, Data Matrix) ofrecen mayor capacidad de almacenamiento y robustez que los códigos 1D. Su principal limitación es la necesidad de línea de visión y lectura uno a uno.
- La RFID permite leer múltiples etiquetas simultáneamente sin línea de visión. Las etiquetas UHF son las más utilizadas en logística. La RFID es ideal para recepción masiva, control de inventario automatizado y prevención de errores en picking.
- El IoT incorpora sensores que monitorean condiciones ambientales (temperatura, humedad, vibración) y localización en tiempo real (RTLS). Es crítico para cadena de frío, activos de alto valor y cumplimiento normativo.
- Las tres tecnologías se complementan. La mayoría de los centros de distribución combinan códigos de barras (para la mayoría de los SKU) con RFID (para productos de alto valor o alta rotación) e IoT (para condiciones críticas).
- La trazabilidad (capacidad de seguir el historial del producto) depende tanto de las tecnologías de identificación como de los sistemas de información y la estandarización de datos.

Preguntas de reflexión para el estudiante

1. ¿Por qué un código de barras 2D (como un QR) puede almacenar mucha más información que un código de barras 1D del mismo tamaño físico? Explique la diferencia en el principio de codificación.

2. En una operación de recepción donde llegan pallets con 100 cajas cada uno, ¿qué ventaja cuantificable (en tiempo y precisión) ofrece un túnel RFID frente al escaneo individual de códigos de barras con una terminal handheld?

3. ¿Qué tipo de productos o situaciones harían que el uso de RFID no sea rentable, incluso si la tecnología está disponible? Considere el costo de la etiqueta y el valor del producto.

4. ¿Por qué el IoT es especialmente relevante para la cadena de frío? ¿Qué tipo de información, además de la temperatura, podría ser monitoreada por sensores IoT en un centro de distribución farmacéutico?

5. ¿Cómo se complementan el GPS y el RTLS en un centro de distribución? ¿Cuándo se usa uno y cuándo el otro?

6. Una empresa de moda de lujo quiere implementar trazabilidad de unidad (cada prenda tiene un identificador único) para combatir la falsificación. ¿Recomendaría códigos QR, RFID UHF o etiquetas IoT? Justifique su respuesta considerando costo, estética (la etiqueta no debe ser visible en la prenda terminada) y funcionalidad.

Capítulo 15

Sistemas de gestión: WMS, WCS, TMS y su integración con ERP

1. Introducción a los sistemas de gestión en el centro de distribución

Un centro de distribución moderno es un organismo complejo donde confluyen flujos de materiales, información y decisiones. Para coordinar estos flujos, los centros de distribución dependen de una arquitectura de sistemas de información especializados que trabajan en conjunto. Cada sistema tiene un propósito, alcance y nivel de decisión diferente, pero todos deben comunicarse entre sí para evitar silos de información y permitir una operación sincronizada.

Este tema presenta los cuatro sistemas más relevantes en el ecosistema tecnológico de un centro de distribución: el WMS (Warehouse Management System), que gestiona las operaciones del almacén; el WCS (Warehouse Control System), que controla los equipos automatizados; el TMS (Transportation Management System), que planifica y optimiza el transporte; y el ERP (Enterprise Resource Planning), que es el sistema corporativo que integra todas las áreas de la empresa.

La comprensión de las funciones de cada sistema, sus interfaces y los datos que intercambian es esencial para el profesional de la cadena de suministro, ya que de ello depende la eficiencia operativa, la precisión del inventario y la capacidad de respuesta ante cambios en la demanda.

2. WMS (Warehouse Management System)

2.1 Definición y propósito

El WMS (Sistema de Gestión de Almacenes) es el cerebro operativo del centro de distribución. Es un software que controla y optimiza todas las actividades relacionadas con el movimiento y almacenamiento de materiales dentro de una instalación logística. Su propósito fundamental es garantizar que los productos correctos estén en las ubicaciones correctas, en las canti-

dades correctas, y que sean extraídos y enviados en el momento adecuado.

A diferencia de un ERP, que tiene una visión más amplia pero menos detallada de las operaciones de almacén, el WMS está diseñado para gestionar la microoperación: cada ubicación, cada movimiento de montacargas, cada línea de pedido, cada escaneo de código de barras.

2.2 Funciones principales del WMS

El WMS se organiza típicamente en módulos funcionales que cubren todo el ciclo de vida del producto dentro del almacén:

Gestión de recepción:

- Programación de citas con proveedores y transportistas.
- Registro de entrada de mercancía, con verificación de cantidades y calidad.
- Asignación de ubicaciones para put-away según reglas predefinidas (por rotación, tamaño, compatibilidad).

Gestión de inventario:

- Control de inventario en tiempo real, por ubicación, lote y estado.
- Soporte para múltiples métodos de rotación (FIFO, LIFO, FEFO).
- Conteo cíclico y gestión de inventarios obsoletos o de lento movimiento.

Gestión de órdenes y picking:

- Recepción de pedidos desde el ERP o desde sistemas de ventas.
- Planificación de oleadas (waves) y asignación de metodologías de picking (por orden, por lote, por zona).
- Generación de tareas de picking y optimización de rutas.
- Soporte para tecnologías de picking (RF, voice, pick-to-light).

Gestión de empaque y expedición:

- Optimización de cajas (cartonization).
- Generación de etiquetas de envío y documentación.
- Asignación de transportistas y consolidación por ruta.
- Registro de salida y actualización de inventario.

Reportes y análisis:

- Indicadores clave de desempeño (KPIs) en tiempo real.
- Historial de movimientos por SKU, operador, ubicación.
- Análisis de productividad y cuellos de botella.

2.3 Beneficios de la implementación de un WMS

Beneficio	Descripción
Precisión del inventario	Aumenta del 80-90 % (manual) a >99.5 % (con WMS).
Productividad operativa	Reducción de tiempos de búsqueda, rutas optimizadas, eliminación de tareas administrativas manuales.
Visibilidad en tiempo real	El estado del inventario se conoce en cada momento, no solo después de inventarios periódicos.
Cumplimiento normativo	Trazabilidad de lotes, caducidades y movimientos para auditorías.
Reducción de errores	El escaneo obligatorio evita errores de producto, ubicación o cantidad.
Escalabilidad	Permite manejar mayores volúmenes sin aumentar proporcionalmente el personal.

2.4 Tipos de WMS según su implementación

- **WMS on-premise:** Instalado en servidores propios del centro de distribución. Mayor control, pero requiere inversión en hardware y personal de TI.
- **WMS en la nube (SaaS):** Alojado por el proveedor, acceso vía internet. Menor inversión inicial, actualizaciones automáticas, pero depende de la conectividad.
- **WMS como módulo de ERP:** Integrado dentro del ERP (ej. SAP EWM, Oracle WMS). Mayor integración nativa, pero puede ser menos especializado que un WMS independiente.
- **WMS best-of-breed:** Sistema independiente, altamente especializado en gestión de almacenes (ej. Manhattan, JDA/BlueYonder, Infor). Se integra con el ERP mediante interfaces.

3. WCS (Warehouse Control System)

3.1 Definición y propósito

El WCS (Sistema de Control de Almacén) es la capa de software que se sitúa entre el WMS y los equipos automatizados del centro de distribución (transportadores, clasificadores, transelevadores AS/RS, robots AMR,

etc.). Mientras que el WMS responde a la pregunta “¿qué hay que hacer?” (ej. “preparar el pedido #12345”), el WCS responde a la pregunta “¿cómo hacerlo en tiempo real?” (ej. “enviar la bandeja por el transportador 3 hacia la estación de clasificación”).

El WCS es especialmente relevante en centros de distribución con alto grado de automatización, donde los tiempos de respuesta deben medirse en segundos o milisegundos, y donde el WMS (optimizado para decisiones estratégicas y tácticas) no puede operar a la velocidad requerida por la maquinaria.

3.2 Funciones principales del WCS

Control de transportadores:

- Dirigir cada caja, bandeja o pallet hacia la siguiente estación según el flujo definido.
- Gestionar zonas de acumulación para evitar congestiones.
- Monitorizar el estado de los transportadores (velocidad, paradas de emergencia).

Control de clasificadores (sorters):

- Leer códigos de barras o RFID en movimiento y desviar cada producto al carril correcto.
- Sincronizar la expulsión de productos con la velocidad de la cinta.
- Control de AS/RS y transelevadores:
- Enviar comandos de movimiento a cada transelevador (ubicación de origen, ubicación de destino).
- Optimizar la secuencia de movimientos para minimizar tiempos de espera.
- Monitorizar el estado de baterías (en sistemas con vehículos autónomos).

Control de robots AMR y AGV:

- Asignar tareas de transporte a los robots (ej. “llevar este pallet de la zona A a la zona B”).
- Planificar rutas en tiempo real, evitando colisiones.
- Gestionar la carga de baterías y la asignación a estaciones de carga.

Interfaz con WMS:

- Recibir órdenes de trabajo del WMS (ej. “mover SKU X desde ubicación Y hasta estación Z”).
- Reportar al WMS la ejecución de cada tarea, con tiempos y cualquier incidencia.

3.3 ¿Cuándo se necesita un WCS?

Situación	Necesidad de WCS
Centro de distribución completamente manual (sin automatización)	No requiere WCS
Automatización aislada (ej. un clasificador)	Puede operar con el software del fabricante, integrado directamente al WMS
Automatización integrada (transportadores + clasificadores + AS/RS + AMR)	Requiere WCS para coordinar los diferentes subsistemas
Operaciones en tiempo real (ej. picking sincronizado con transportadores)	Requiere WCS para latencia baja
Múltiples proveedores de automatización	El WCS actúa como capa unificadora que abstrae las diferencias entre fabricantes

4. TMS (Transportation Management System)

4.1 Definición y propósito

El TMS (Sistema de Gestión de Transporte) es el software que planifica, ejecuta y optimiza el movimiento de productos desde el centro de distribución hasta los clientes (transporte de salida) y, en algunos casos, desde los proveedores hasta el centro de distribución (transporte de entrada). Mientras que el WMS se enfoca en lo que ocurre dentro de las cuatro paredes del almacén, el TMS se enfoca en lo que ocurre desde que los productos salen por la puerta de expedición hasta que llegan al destino final.

El TMS responde a preguntas como: ¿qué transportista es más económico para esta ruta? ¿Cómo consolidar pedidos de múltiples clientes en un solo camión? ¿Cuál es la ruta óptima para una flota de vehículos? ¿Dónde está cada pedido en tránsito?

4.2 Funciones principales del TMS

Planificación de transporte:

- Selección de transportista según costo, tiempo y nivel de servicio.
- **Consolidación de pedidos:** agrupar envíos al mismo destino o en la misma ruta para llenar camiones.
- **Optimización de rutas:** calcular la secuencia de entregas que minimice distancia y tiempo.

Ejecución de transporte:

- Generación de documentación de envío (cartas porte, manifiestos, etiquetas de envío).
- Asignación de carga a vehículos y conductores.
- Comunicación con transportistas (envío de órdenes de carga, confirmaciones).

Seguimiento y visibilidad:

- Rastreo en tiempo real de la ubicación de los vehículos (vía GPS integrado).
- Alertas de desviaciones (retrasos, rutas alternativas).
- **Portal para clientes:** consulta del estado de sus pedidos en tránsito.

Optimización continua:

- Análisis de desempeño de transportistas (cumplimiento de tiempos, tasa de daños).
- Comparación de tarifas y negociación de contratos.
- Simulación de escenarios (ej. impacto de añadir un vehículo a la flota).

4.3 Beneficios de un TMS

- **Reducción de costos de transporte:** 5-15 % de ahorro típico mediante consolidación y optimización de rutas.
- **Mejor selección de transportistas:** Comparación objetiva de tarifas y niveles de servicio.
- **Mayor visibilidad:** Clientes y servicio al cliente saben en tiempo real dónde está cada pedido.
- **Reducción de errores documentales:** La documentación se genera automáticamente, evitando errores manuales.
- **Cumplimiento normativo:** Gestión de horarios de conducción, descansos, documentación aduanera.

5. ERP (Enterprise Resource Planning)

5.1 Definición y propósito

El ERP (Sistema de Planificación de Recursos Empresariales) es el sistema central de la empresa. Integra todas las áreas funcionales —finanzas, contabilidad, compras, ventas, producción, recursos humanos, inventario corporativo— en una única base de datos y una interfaz común. A diferencia del WMS, que está enfocado en las operaciones detalladas del almacén, el ERP tiene una visión corporativa y financiera de la cadena de suministro.

En el contexto del centro de distribución, el ERP es el emisor de las órdenes de compra (que llegan al WMS para la recepción) y de los pedidos de clientes (que llegan al WMS para el picking). También recibe del WMS las confirmaciones de recepción y despacho para actualizar el inventario corporativo y la contabilidad.

5.2 Funciones del ERP relevantes para el CEDIS

- **Gestión de pedidos de clientes:** Registro de pedidos, verificación de crédito, precios.
- **Gestión de compras:** Emisión de órdenes de compra a proveedores, seguimiento de aprobaciones.
- **Gestión de inventario corporativo:** Visión consolidada del inventario en todos los almacenes y tiendas (no solo en el CEDIS).
- **Contabilidad y finanzas:** Registro de costos de inventario, cuentas por pagar a proveedores, cuentas por cobrar a clientes.
- **Planificación de la demanda:** Pronósticos de venta que alimentan las decisiones de reabastecimiento.

5.3 Diferencia clave entre ERP y WMS

Aspecto	ERP	WMS
Enfoque	Corporativo, financiero, toda la empresa.	Operativo, detallado, dentro del almacén.
Granularidad del inventario	Por SKU y por ubicación general (ej. “bodega norte”).	Por SKU, lote, ubicación específica (rack, nivel, posición).
Actualización	Por lote o periódica (ej. al final del día).	En tiempo real (cada escaneo).
Usuarios típicos	Finanzas, compras, ventas, gerencia.	Operadores de almacén, supervisores de logística.
Funciones específicas	Facturación, contabilidad, pronósticos.	Put-away, picking, reubicación, conteo cíclico.

6. Integración de sistemas: la arquitectura de la cadena de suministro

Ninguno de estos sistemas opera de manera aislada. La eficiencia del centro de distribución depende de una integración fluida entre ellos, donde los datos fluyan automáticamente sin intervención manual y con latencia mínima.

6.1 Flujo de información típico en un centro de distribución integrado

1. El ERP recibe un pedido de un cliente (desde la tienda en línea, el sistema de ventas o EDI).
2. El ERP transmite el pedido al WMS (vía API o middleware).
3. El WMS planifica el procesamiento del pedido: asigna metodología de picking, genera tareas.
4. Si hay automatización, el WMS envía órdenes de trabajo al WCS.
5. El WCS controla los equipos (transportadores, clasificadores, robots) para ejecutar las tareas.
6. El WMS confirma el picking y empaque, actualiza el inventario.
7. El WMS notifica al TMS que el pedido está listo para despachar.
8. El TMS selecciona el transportista y la ruta óptima, genera la documentación de envío.

9. El TMS notifica al ERP que el pedido fue despachado.
10. El ERP actualiza el inventario corporativo, genera la factura y notifica al cliente (con número de seguimiento).

6.2 Métodos de integración

Método	Descripción	Ventajas	Desventajas
Integración punto a punto	Conexiones directas entre cada par de sistemas (ej. ERP-WMS, WMS-TMS).	Simple de implementar inicialmente.	Difícil de mantener cuando hay muchos sistemas.
Middleware / ESB	Un bus de servicios central que orquesta las comunicaciones entre todos los sistemas.	Escalable, centraliza la lógica de integración.	Costo de implementación y mantenimiento.
APIs RESTful	Interfaces estándar basadas en web que permiten a los sistemas consultarse entre sí en tiempo real.	Moderno, flexible, adecuado para entornos cloud.	Requiere que todos los sistemas soporten APIs.
Archivos planos (EDI, XML, CSV)	Intercambio de archivos programado (ej. cada hora).	Sencillo, no requiere conexión en tiempo real.	Latencia (no tiempo real), riesgo de desincronización.

6.3 Estándares de integración comunes

- **EDI (Electronic Data Interchange):** Estándar para intercambio de documentos comerciales (órdenes de compra, facturas, avisos de despacho). Muy utilizado en integración ERP-WMS con proveedores y clientes.
- **GS1 EPCIS (Electronic Product Code Information Services):** Estándar para intercambiar eventos de trazabilidad (recepción, almacenamiento, expedición) basados en RFID.
- **ODBC / JDBC:** Conexión directa a bases de datos (menos recomendado por seguridad y acoplamiento).
- **Message Queues (MQTT, RabbitMQ, Kafka):** Para comunicación en tiempo real, especialmente entre WMS y WCS.

7. Desafíos de la integración y buenas prácticas

7.1 Desafíos comunes

Desafío	Descripción	Consecuencia
Datos maestros inconsistentes	Los códigos de producto, clientes o ubicaciones no coinciden entre ERP y WMS.	Errores de recepción, picking incorrecto, facturación errónea.
Latencia en la integración	La información tarda minutos u horas en pasar de un sistema a otro.	Inventario desactualizado, ventas de productos ya agotados.
Doble ingreso manual	Cuando no hay integración, los operadores ingresan la misma información en dos sistemas.	Errores, ineficiencia, frustración.
Falta de estandarización	Cada sistema usa sus propios códigos y formatos.	Interfaces complejas y frágiles.
Proveedores múltiples	ERP de un fabricante, WMS de otro, TMS de otro.	Responsabilidades difusas cuando falla la integración.

7.2 Buenas prácticas para una integración exitosa

- **Gobernanza de datos maestros:** Un equipo o sistema central (MDM - Master Data Management) asegura que los códigos de producto, clientes, ubicaciones y proveedores sean consistentes en todos los sistemas.
- **Integración en tiempo real (o casi real):** Para procesos críticos (recepción, picking, expedición), la latencia debe ser de segundos, no de horas.
- **Mecanismos de reintento y colas:** Si un sistema falla, los mensajes no se pierden; se encolan y se reintentan automáticamente.
- **Monitoreo y alertas:** Tableros de control que muestran el estado de las interfaces (volumen de mensajes, errores, latencia).
- **Pruebas de integración continuas:** Simular flujos completos (pedido → picking → despacho → facturación) en un entorno de pruebas antes de cada actualización de software.
- **Adoptar estándares:** Siempre que sea posible, usar EDI, GS1, APIs RESTful en lugar de interfaces propietarias.

8. Tendencias futuras en sistemas de gestión

Tendencia	Descripción	Impacto esperado
WMS en la nube (SaaS)	Migración de WMS on-premise a soluciones cloud.	Menor inversión inicial, actualizaciones automáticas, escalabilidad.
Digital Twin (gemelo digital)	Réplica virtual del almacén dentro del WMS, que simula el impacto de decisiones antes de ejecutarlas.	Mejor planificación, menor riesgo en cambios operativos.
WMS con IA integrada	Algoritmos de machine learning para optimizar slotting, predecir picos de demanda y sugerir niveles de stock de seguridad.	Mayor eficiencia, menos inventario, mejor nivel de servicio.
Control Towers	Plataformas que integran WMS, TMS y otros sistemas para ofrecer visibilidad end-to-end de la cadena de suministro.	Un único panel para gestionar toda la red logística.
Blockchain para trazabilidad	Registro inmutable de eventos de la cadena de suministro, compartido entre múltiples socios.	Confianza en la procedencia, auditorías más rápidas.

9. Resumen del tema

- El **WMS (Warehouse Management System)** es el cerebro operativo del centro de distribución. Gestiona recepción, inventario, picking, empaque y expedición, con precisión en tiempo real y soporte para múltiples tecnologías de picking.
- El **WCS (Warehouse Control System)** es la capa de control en tiempo real de los equipos automatizados (transportadores, clasificadores, AS/RS, AMR). Se sitúa entre el WMS y la maquinaria, traduciendo órdenes de trabajo en comandos de bajo nivel.
- El **TMS (Transportation Management System)** planifica, ejecuta y optimiza el transporte desde el centro de distribución hasta los clientes. Reduce costos de flete, mejora la selección de transportistas y ofrece visibilidad de los envíos en tránsito.

- El **ERP (Enterprise Resource Planning)** es el sistema corporativo que integra finanzas, compras, ventas e inventario global. Emite las órdenes de compra y los pedidos de clientes que el WMS ejecuta, y recibe confirmaciones para actualizar la contabilidad.
- La **integración** entre estos sistemas es crítica. El flujo de información debe ser automático, en tiempo real (o casi real), con datos maestros consistentes y mecanismos de tolerancia a fallos.
- Las tendencias futuras apuntan a WMS en la nube, integración de inteligencia artificial, gemelos digitales y control towers que ofrecen visibilidad end-to-end de la cadena de suministro.

Preguntas de reflexión para el estudiante

1. ¿Por qué un ERP no puede reemplazar a un WMS en la gestión detallada de un centro de distribución? ¿Qué funciones específicas del WMS no están presentes en un ERP típico?

2. En un centro de distribución completamente manual (sin transportadores, sin clasificadores, sin robots), ¿se necesita un WCS? ¿Por qué sí o por qué no?

3. ¿Qué tipo de información debería intercambiar un WMS con un TMS en el momento en que un pedido está listo para ser despachado? ¿Y qué información debería recibir el WMS del TMS después del despacho?

4. ¿Qué problemas pueden ocurrir si la integración entre el ERP y el WMS tiene una latencia de varias horas (en lugar de ser en tiempo real)? Piense en un escenario de e-commerce con alta rotación.

5. Una empresa tiene un ERP de un fabricante (ej. SAP), un WMS de otro (ej. Manhattan) y un TMS de un tercero (ej. Oracle Transportation Management). ¿Qué desafíos de integración específicos enfrenta? ¿Qué estrategias recomendaría para mitigarlos?

6. ¿Por qué la gestión de datos maestros (productos, clientes, ubicaciones) es fundamental para una integración exitosa? ¿Qué ocurre si el código de un producto en el ERP no coincide con el código en el WMS?

7. ¿En qué tipo de centro de distribución un WCS sería indispensable y en cuál sería un gasto innecesario? Fundamente su respuesta.

8. Investigue qué es una “control tower” en logística. ¿Cómo se relaciona con los sistemas WMS, TMS y ERP descritos en este tema?

Capítulo 16

Digitalización y analítica: Gemelos digitales, simulación de procesos, analítica de datos para la toma de decisiones, inteligencia artificial para pronósticos y asignación de recursos

1. Introducción a la digitalización y la analítica en centros de distribución

La transformación digital de los centros de distribución ha trascendido la simple automatización de tareas o la implementación de sistemas transaccionales como WMS y ERP. En la actualidad, la frontera competitiva se encuentra en la capacidad de generar valor a partir de los datos que estos sistemas producen en cantidades masivas. Cada escaneo de código de barras, cada movimiento de montacargas, cada pedido procesado, cada sensor IoT, genera una huella digital que, correctamente analizada, puede revelar patrones, anticipar problemas y optimizar decisiones.

Este tema aborda cuatro conceptos fundamentales de la digitalización avanzada aplicada a centros de distribución. En primer lugar, los gemelos digitales, que son réplicas virtuales del almacén que permiten experimentar sin riesgos. En segundo lugar, la simulación de procesos, una herramienta clásica pero potente para modelar el comportamiento dinámico del CEDIS. En tercer lugar, la analítica de datos como habilitadora de decisiones basadas en evidencia, desde el análisis descriptivo hasta el predictivo y prescriptivo. Finalmente, la inteligencia artificial, especialmente el machine learning, aplicada a dos problemas críticos: el pronóstico de demanda y la asignación óptima de recursos (personal, equipos, espacios).

Estas tecnologías no reemplazan el juicio humano, pero lo potencian al procesar volúmenes de información que ningún equipo de analistas podría abordar manualmente, y al hacerlo en tiempos que van desde segundos (para alertas en tiempo real) hasta horas (para planificación semanal).

2. Gemelos digitales (Digital Twins)

2.1 Definición y principios

Un gemelo digital es una representación virtual dinámica y actualizada en tiempo real de un sistema físico —en este caso, un centro de distribución— que refleja su estado, comportamiento y evolución a lo largo del tiempo. A diferencia de un modelo estático (como un plano CAD), el gemelo digital se alimenta continuamente de datos del mundo real (sensores, WMS, equipos) y puede ser utilizado para simular escenarios, predecir comportamientos y optimizar operaciones sin intervenir en el sistema real.

El gemelo digital no es un único software, sino una arquitectura que combina:

- Un modelo geométrico 3D del almacén (layout, estanterías, equipos).
- Datos en tiempo real del WMS (inventario, ubicaciones ocupadas, estado de pedidos).
- Datos de sensores IoT (temperatura, humedad, vibración, ocupación de muelles).
- Datos de equipos automatizados (estado de transportadores, baterías de robots).
- Algoritmos de simulación y optimización que actualizan el modelo y proponen acciones.

2.2 Aplicaciones del gemelo digital en centros de distribución

Diseño y rediseño de layout:

- Antes de construir un nuevo CEDIS, se crea un gemelo digital para probar diferentes configuraciones de layout (flujo en U, I, L, T), anchos de pasillo, ubicación de muelles, etc., sin costo de construcción.
- Se simula el impacto de mover una zona de picking o agregar una nueva área de valor agregado.

Optimización operativa en tiempo real:

- El gemelo digital detecta un cuello de botella en la zona de clasificación y sugiere reasignar operadores de otras zonas menos congestionadas.

- Predice la saturación de un muelle de expedición en las próximas dos horas y recomienda abrir un muelle adicional.

Capacitación de operadores:

- Los nuevos operadores practican en el gemelo digital (realidad virtual) antes de operar en el almacén real, reduciendo el riesgo de accidentes y errores.

Planificación de contingencias:

- Simula el impacto de un fallo de un transportador principal o de la caída del sistema WMS, y evalúa los tiempos de recuperación.
- Prueba planes de continuidad de negocio sin paralizar la operación real.

What-if analysis (análisis de escenarios hipotéticos):

- “¿Qué pasa si la demanda de un SKU clase A se duplica la próxima semana?” El gemelo digital muestra dónde se necesitará espacio adicional y si el picking podrá absorber el volumen.
- “¿Qué pasa si se incorporan 5 robots AMR en la zona de picking?” El gemelo digital simula las interacciones con los operadores humanos y estima la nueva productividad.

2.3 Beneficios de los gemelos digitales

Beneficio	Descripción
Reducción de riesgos	Se pueden probar cambios costosos (layout, equipos, procesos) en el mundo virtual antes de implementarlos en el real.
Toma de decisiones basada en datos	Las decisiones se apoyan en simulaciones cuantitativas, no en intuiciones.
Optimización continua	El gemelo digital no es un proyecto de una sola vez; se actualiza constantemente y genera mejoras incrementales.
Acortamiento de tiempos de puesta en marcha	Los nuevos procesos o equipos se “prueban” en el gemelo digital, reduciendo el tiempo de ajuste en el mundo real.

2.4 Limitaciones y desafíos

- **Costo de implementación:** Requiere inversión en software de simulación, modelado 3D, sensores y sistemas de integración.
- **Mantenimiento del modelo:** El gemelo digital debe mantenerse sincronizado con los cambios en el almacén físico (nuevos racks, cambios de layout, nuevos equipos).

- **Volumen de datos:** Procesar y almacenar los datos en tiempo real de un CEDIS grande puede ser desafiante.
- **Capacidades analíticas:** Se necesitan ingenieros de datos y científicos de datos para construir y operar el gemelo digital.

3. Simulación de procesos

3.1 Definición y relación con el gemelo digital

La simulación de procesos es una técnica que modela el comportamiento de un sistema a lo largo del tiempo mediante la ejecución de un modelo computacional que representa sus componentes, interacciones y reglas de operación. A diferencia del gemelo digital (que está permanentemente conectado a datos en tiempo real), la simulación puede ser desconectada (se ejecuta con datos históricos o hipotéticos) y se utiliza principalmente para análisis *offline* de escenarios futuros.

En la práctica, el gemelo digital incorpora uno o más motores de simulación como parte de su arquitectura. La simulación es la “herramienta” que el gemelo digital utiliza para predecir y optimizar.

3.2 Tipos de simulación aplicados a CEDIS

Tipo de simulación	Descripción	Aplicación típica
Simulación de eventos discretos (DES)	Modela el sistema como una secuencia de eventos discretos (ej. llegada de un camión, finalización de un picking, fallo de un transportador).	Análisis de cuellos de botella, dimensionamiento de muelles, planificación de capacidad.
Simulación basada en agentes (ABS)	Modela entidades autónomas (operadores, montacargas, robots) que toman decisiones según reglas y interactúan entre sí.	Flujo de picking con múltiples operadores, navegación de AMR.
Simulación continua	Modela variables que cambian continuamente (ej. nivel de inventario de un SKU).	Integrada con modelos de control de inventarios (stock de seguridad, punto de reorden).

Tipo de simulación	Descripción	Aplicación típica
Simulación Monte Carlo	Introduce aleatoriedad en parámetros (demanda, lead time, fallos de equipos) y ejecuta múltiples repeticiones para estimar distribuciones de resultados.	Evaluación de riesgos, dimensionamiento de stock de seguridad.

3.3 Aplicaciones de simulación en centros de distribución

Dimensionamiento de recursos:

- ¿Cuántos operadores de picking se necesitan para procesar 10,000 pedidos por día con un nivel de servicio del 99 %?
- ¿Cuántos muelles de recepción se requieren si los camiones llegan según una distribución de Poisson con media de 3 por hora?

Evaluación de tecnologías:

- Simular el impacto de reemplazar picking manual por robots AMR en la zona de productos pequeños.
- Comparar dos configuraciones de transportadores (lineal vs. en bucle) en términos de congestión y tiempo de ciclo.

Planificación de capacidad:

- Simular la operación durante el pico de temporada alta para identificar si la capacidad actual es suficiente o se necesita espacio adicional (o turnos extras).

Análisis de sensibilidad:

- ¿Cómo afecta al tiempo de ciclo del pedido una variación del ± 20 % en la demanda?
- ¿Cuál es el punto de inflexión donde un segundo clasificador automático se vuelve rentable?

Entrenamiento y gamificación:

- Simuladores interactivos donde los supervisores pueden probar diferentes estrategias de asignación de tareas y ver el impacto en los KPIs.

3.4 Software de simulación para CEDIS

- **FlexSim:** Especializado en simulación de almacenes y líneas de producción. Interfaz 3D, integración con WMS y datos reales.

- **AnyLogic:** Soporta múltiples métodos de simulación (DES, ABS, continuo). Muy flexible, ampliamente utilizado en investigación.
- **Simio:** Enfoque en simulación de sistemas complejos con objetos personalizables.
- **Arena (Rockwell):** Clásico en simulación de eventos discretos, amplia biblioteca de objetos para logística.
- **Llamasoft Supply Chain Guru:** Especializado en diseño de redes logísticas, pero incluye módulos de simulación de almacenes.

4. Analítica de datos para la toma de decisiones

4.1 Definición y niveles de analítica

La analítica de datos es el proceso de examinar, limpiar, transformar y modelar datos con el objetivo de extraer información útil, apoyar la toma de decisiones y descubrir patrones que no son evidentes a simple vista. En el contexto de un centro de distribución, la analítica se aplica a los datos generados por el WMS, TMS, ERP, sensores IoT y sistemas de equipos.

La analítica se clasifica típicamente en cuatro niveles, que representan una progresión en complejidad y valor:

Analítica descriptiva (¿qué pasó?):

- **Responde a preguntas como:** ¿Cuántos pedidos se procesaron ayer? ¿Cuál fue la productividad promedio por operador? ¿Cuántas devoluciones se recibieron la semana pasada?
- **Herramientas:** dashboards, reportes, visualizaciones (gráficos de barras, líneas, mapas de calor).
- **Ejemplo en CEDIS:** Tablero de KPIs en tiempo real que muestra líneas por hora, precisión del picking, ocupación de muelles.

Analítica diagnóstica (¿por qué pasó?):

- **Responde a preguntas como:** “¿Por qué aumentaron los tiempos de ciclo del pedido la semana pasada?”, “¿Qué factor (falta de personal, avería de equipos, cambio en el perfil de pedidos) explica la caída de productividad?”.
- **Herramientas:** drill-down, análisis de correlación, segmentación de datos.
- **Ejemplo en CEDIS:** Análisis que revela que los pedidos con más de 10

líneas tienen un tiempo de picking 3 veces mayor que los de 1-2 líneas, sugiriendo la necesidad de una zona dedicada para pedidos grandes.

Analítica predictiva (¿qué pasará?):

- **Responde a preguntas como:** “¿Cuántos pedidos se esperan la próxima semana?”, “¿Qué SKU tienen alta probabilidad de agotarse en los próximos 5 días?”, “¿Qué operadores tienen mayor riesgo de accidente según sus patrones de movimiento?”.
- **Herramientas:** modelos de regresión, series temporales, machine learning (árboles de decisión, redes neuronales).
- **Ejemplo en CEDIS:** Modelo que predice la demanda diaria de cada SKU para las próximas 4 semanas, alimentando los cálculos de stock de seguridad.

Analítica prescriptiva (¿qué deberíamos hacer?):

- **Responde a preguntas como:** “¿Cuál es la asignación óptima de operadores a zonas de picking para minimizar el tiempo de ciclo?”, “¿Qué SKU deberían moverse a ubicaciones más cercanas al picking para reducir la distancia recorrida?”.
- **Herramientas:** optimización matemática, algoritmos genéticos, simulación.
- **Ejemplo en CEDIS:** Algoritmo que reasigna dinámicamente las ubicaciones de los SKU (slotting) cada semana, basado en los pronósticos de demanda y la estacionalidad.

4.2 Fuentes de datos en un centro de distribución

Fuente de datos	Tipo de datos	Frecuencia	Ejemplo de uso analítico
WMS	Transacciones de inventario (recepción, put-away, picking, expedición).	En tiempo real	Análisis de productividad por operador, por zona, por turno.
TMS	Rutas, tiempos de tránsito, costos de flete.	Por envío	Optimización de rutas, evaluación de transportistas.
ERP	Pedidos de clientes, órdenes de compra, datos de proveedores.	Diario	Pronóstico de demanda, análisis de estacionalidad.

Fuente de datos	Tipo de datos	Frecuencia	Ejemplo de uso analítico
Sensores IoT	Temperatura, humedad, vibración, ocupación de muelles.	Continuo (segundos)	Alertas tempranas de desviaciones, eficiencia energética.
Equipos (montacargas, AMR)	Horas de operación, batería, distancia recorrida, colisiones.	En tiempo real	Mantenimiento predictivo, optimización de rutas de equipos.
Operadores (RFID, login)	Tiempo por tarea, ubicación en el almacén.	En tiempo real	Análisis de eficiencia, detección de cuellos de botella.

4.3 Herramientas de analítica para centros de distribución

Herramienta	Tipo	Aplicación típica
Power BI / Tableau	Visualización y dashboards	KPIs en tiempo real, reportes ejecutivos.
SQL / Python (pandas)	Análisis de datos	Extracción, limpieza y agregación de datos del WMS.
R / Python (scikit-learn)	Modelos predictivos	Pronóstico de demanda, clasificación de SKU.
Optimización (Gurobi, CPLEX)	Programación matemática	Asignación óptima de recursos, slotting.
Plataformas de datos (Databricks, Snowflake)	Almacenamiento y procesamiento masivo	Integración de datos de múltiples fuentes (WMS, TMS, ERP, IoT).

5. Inteligencia artificial para pronósticos y asignación de recursos

5.1 Definición y alcance en CEDIS

La Inteligencia Artificial (IA), y en particular el Machine Learning (ML), está transformando dos áreas críticas de la gestión de centros de distribución: el pronóstico de demanda (cuánto se venderá de cada producto, cuándo y dónde) y la asignación de recursos (dónde ubicar los productos, cómo asignar tareas a operadores y equipos, cómo dimensionar la fuerza laboral).

A diferencia de los modelos estadísticos tradicionales (como promedios móviles o suavizamiento exponencial), los modelos de ML pueden capturar relaciones no lineales, interacciones entre múltiples variables y patrones complejos en grandes volúmenes de datos históricos.

5.2 IA para pronóstico de demanda

Problema: Predecir la demanda futura de cada SKU con la mayor precisión posible, para determinar niveles de stock de seguridad, puntos de reorden y planificar la capacidad de picking.

Variables típicas en un modelo de pronóstico de demanda para CEDIS:

- Historial de ventas (por día, semana, mes).
- Estacionalidad (Navidad, verano, días de promoción).
- Días de la semana (ej. los lunes hay más pedidos de ciertos productos).
- Precio y promociones (descuentos, ofertas 2x1).
- Competencia (precios de productos similares de otras marcas).
- Factores externos (clima, festivos, eventos deportivos).
- Tendencias de largo plazo (crecimiento del mercado, cambios en preferencias).

Modelos de ML para pronóstico:

Modelo	Características	Ventajas	Desventajas
ARIMA / SARIMA	Modelo estadístico clásico para series temporales.	Bien comprendido, requiere menos datos que ML.	No captura bien relaciones no lineales ni variables externas.
Random Forest	Conjunto de árboles de decisión.	Maneja bien datos tabulares, captura interacciones.	Puede sobreajustar si no se regula.
Gradient Boosting (XGBoost, LightGBM)	Ensemble avanzado, muy popular en competiciones de pronóstico.	Alta precisión, maneja datos faltantes.	Computacionalmente intensivo.
Redes Neuronales (LSTM)	Arquitectura recurrente diseñada para secuencias temporales.	Captura patrones a largo plazo, ideal para series complejas.	Requiere muchos datos, "caja negra" (difícil de interpretar).
Modelos híbridos	Combinación de ML con modelos estadísticos.	Lo mejor de ambos mundos.	Complejidad de implementación.

Ejemplo práctico: Un CEDIS de e-commerce de moda utiliza un modelo XGBoost para pronosticar la demanda diaria de 10 000 SKU. El modelo incorpora variables como ventas de las últimas 4 semanas, estacionalidad (Navidad, Black Friday), temperatura pronosticada (afecta la demanda de abrigos vs. camisetas) y días hasta el próximo envío gratuito. El modelo se reentrena semanalmente y logra un error absoluto medio (MAE) un 25 % menor que el modelo estadístico anterior (suavizamiento exponencial de Holt-Winters).

5.3 IA para asignación de recursos

Problema: Dados los pronósticos de demanda (cantidad y composición de pedidos), ¿cómo asignar los recursos limitados (operadores, montacargas, robots, espacio de almacenamiento) para maximizar la productividad y el nivel de servicio, minimizando los costos?

Aplicaciones específicas de IA en asignación de recursos:

Slotting dinámico (asignación de ubicaciones a SKU):

- El modelo aprende qué SKU se piden juntos con frecuencia (análisis de afinidad) y los ubica cerca en el almacén para reducir recorridos.
- El modelo aprende la estacionalidad de cada SKU y mueve automáticamente los productos de temporada a zonas de picking prioritarias antes de que llegue el pico.
- **Técnica:** Aprendizaje por refuerzo (reinforcement learning) que ajusta las ubicaciones para minimizar la distancia de picking.

Asignación de tareas a operadores:

- El sistema asigna dinámicamente las tareas de picking a los operadores según su ubicación actual, su velocidad histórica y la urgencia del pedido.
- El modelo aprende qué operadores son más rápidos en ciertos tipos de productos (ej. algunos son más veloces en productos pequeños, otros en productos pesados).
- **Técnica:** Algoritmos de asignación de tareas en tiempo real (similar a la asignación de viajes en Uber).

Dimensionamiento de personal por turno:

- El modelo predice la carga de trabajo para cada hora del día (basado

en pronósticos de pedidos) y recomienda cuántos operadores deben programarse en cada turno.

- Ajusta la recomendación según la productividad esperada de cada operador (basada en datos históricos individuales).
- **Técnica:** Optimización de fuerza laboral con restricciones (horas máximas, preferencias de turnos, tiempo de entrenamiento).

Enrutamiento de robots AMR:

- El modelo decide qué robot asigna a cada tarea de transporte y qué ruta debe seguir, considerando el tráfico actual, las baterías disponibles y la prioridad de las tareas.
- Aprende patrones de congestión en ciertos pasillos a ciertas horas y sugiere rutas alternativas.
- **Técnica:** Algoritmos de búsqueda de caminos (A, D Lite) combinados con aprendizaje por refuerzo.

5.4 Beneficios y desafíos de la IA en CEDIS

Beneficios:

- **Mayor precisión en pronósticos:** Reducción del error de pronóstico en un 20-50 % frente a métodos estadísticos tradicionales.
- **Reducción de inventario:** Menor necesidad de stock de seguridad por mejor precisión.
- **Mayor productividad:** Asignación óptima de tareas puede aumentar líneas por hora en un 10-25 %.
- **Adaptación a cambios:** Los modelos de ML se reentrenan periódicamente y se adaptan a cambios estacionales o estructurales en la demanda.
- **Automatización de decisiones tácticas:** El sistema puede tomar decisiones de reasignación en segundos, sin esperar la intervención de un supervisor.

Desafíos:

- **Calidad de datos:** “Garbage in, garbage out”. Si los datos del WMS tienen errores (inventario incorrecto, tiempos mal registrados), los modelos de ML aprenderán patrones erróneos.
- **Interpretabilidad (“caja negra”):** Un modelo de redes neuronales puede predecir bien, pero no explicar por qué. Esto dificulta la confianza de los operadores y gerentes.

- **Costo de implementación:** Se necesitan científicos de datos, ingenieros de ML e infraestructura computacional.
- **Mantenimiento:** Los modelos deben ser monitoreados para detectar “desviación del concepto” (cuando los patrones del pasado dejan de ser válidos) y reentrenados periódicamente.
- **Integración con sistemas existentes:** El modelo debe integrarse con el WMS, TMS y ERP para recibir datos y enviar recomendaciones.

6. Integración de gemelos digitales, simulación, analítica e IA

Estas cuatro capacidades no operan de manera aislada. En un centro de distribución digitalmente maduro, se integran en una plataforma de decisión que recorre todo el espectro, desde los datos brutos hasta las acciones automatizadas.

Ejemplo integrado:

1. **Datos:** El WMS registra que los tiempos de picking en la zona de productos pequeños han aumentado un 15 % en la última semana (analítica descriptiva).
2. **Diagnóstico:** Un analista utiliza herramientas de analítica diagnóstica para segmentar los datos y descubre que el aumento se debe a un nuevo SKU de alta rotación que fue ubicado en una zona alejada porque no había espacio cerca del picking.
3. **Predicción:** Un modelo de ML predictivo estima que, si no se cambia la ubicación, la productividad seguirá disminuyendo y los tiempos de ciclo superarán el nivel de servicio comprometido en 3 días.
4. **Simulación:** El gemelo digital del almacén ejecuta una simulación de lo que ocurriría si se mueve el SKU a una ubicación más cercana, considerando el costo de reubicación (mano de obra) y el ahorro futuro en tiempo de picking.
5. **Prescripción:** Un algoritmo de optimización (analítica prescriptiva) calcula la nueva ubicación óptima y genera una tarea de reubicación en el WMS.
6. **Ejecución:** El WMS asigna la tarea a un operador, quien mueve físicamente el SKU. El gemelo digital se actualiza con la nueva ubicación.

7. **Monitoreo:** Las analíticas descriptivas confirman que, una semana después, los tiempos de picking han vuelto a los niveles normales.

Este ciclo de mejora continua, habilitado por la integración de estas tecnologías, es lo que distingue a un centro de distribución digitalmente avanzado de uno tradicional.

7. Resumen del tema

- Los gemelos digitales son réplicas virtuales del centro de distribución, actualizadas en tiempo real con datos del WMS, sensores y equipos. Permiten experimentar, predecir y optimizar sin riesgos en el mundo físico.
- La simulación de procesos es la técnica que modela el comportamiento dinámico del CEDIS. Se utiliza para dimensionamiento de recursos, evaluación de tecnologías, planificación de capacidad y análisis de sensibilidad. La simulación de eventos discretos (DES) es la más común en almacenes.
- La analítica de datos se organiza en cuatro niveles: descriptiva (qué pasó), diagnóstica (por qué pasó), predictiva (qué pasará) y prescriptiva (qué hacer). Los dashboards, el análisis de correlación, los modelos de series temporales y la optimización son herramientas clave.
- La inteligencia artificial aplicada a centros de distribución se enfoca en dos problemas críticos: el pronóstico de demanda (usando modelos como Random Forest, XGBoost o LSTM) y la asignación de recursos (slotting dinámico, asignación de tareas, dimensionamiento de personal, enrutamiento de robots).
- La integración de estas cuatro capacidades en un ciclo de mejora continua (datos → diagnóstico → predicción → simulación → prescripción → ejecución → monitoreo) es la base de la transformación digital avanzada en centros de distribución.

Preguntas de reflexión para el estudiante

1. ¿Cuál es la diferencia fundamental entre un gemelo digital y un modelo de simulación tradicional? ¿Qué elemento añade el gemelo digital que no tiene una simulación *offline*?

2. Una empresa está considerando automatizar su zona de picking con robots AMR. ¿Qué tipo de simulación (DES, ABS, Monte Carlo) sería más adecuada para evaluar el impacto? ¿Por qué?

3. ¿En qué nivel de analítica (descriptiva, diagnóstica, predictiva, prescriptiva) se encuentra un dashboard de KPIs en tiempo real? ¿Y un modelo que sugiere reasignar operadores de picking según la carga de trabajo?

4. ¿Por qué un modelo de machine learning (ej. XGBoost) puede superar a un modelo estadístico clásico (ej. ARIMA) en pronóstico de demanda para un CEDIS de e-commerce? ¿En qué situaciones el modelo clásico podría ser preferible?

5. Explique cómo el aprendizaje por refuerzo (reinforcement learning) podría aplicarse al problema del slotting dinámico (asignación de ubicaciones a SKU). ¿Qué función de recompensa podría definirse?

6. ¿Qué desafíos específicos de calidad de datos pueden afectar a un modelo de IA para pronóstico de demanda en un centro de distribución? Mencione al menos tres y cómo mitigarlos.

7. Una empresa farmacéutica con estrictos requisitos de trazabilidad está considerando implementar un gemelo digital. ¿Qué consideraciones regulatorias y de seguridad de datos debe tener en cuenta?

8. ¿Cómo podría la simulación Monte Carlo ayudar a dimensionar el stock de seguridad de un SKU con demanda muy variable y lead time incierto?

V

Indicadores, productividad y mejora continua

Introducción

La administración de un centro de distribución no se agota en el diseño de infraestructura, la implementación de tecnologías o la ejecución de procesos operativos. Por muy bien concebida que esté una instalación, su desempeño real solo puede conocerse y mejorarse a través de la medición sistemática de sus resultados. Sin medición, no hay gestión; sin indicadores, no hay dirección; sin mejora continua, no hay supervivencia en entornos competitivos.

Este capítulo aborda el ciclo virtuoso que va desde la definición de qué medir (indicadores), pasando por la evaluación de la eficiencia (productividad), hasta la implementación de cambios sistemáticos para elevar el desempeño (mejora continua). Los centros de distribución de clase mundial no se conforman con funcionar; miden obsesivamente, comparan contra estándares internos y externos, y buscan incansablemente eliminar desperdicios y aumentar el valor entregado al cliente.

El capítulo se organiza en torno a tres grandes bloques temáticos.

En primer lugar, se desarrolla el cuadro de mando integral (Balanced Scorecard) aplicado a centros de distribución. A diferencia de los enfoques tradicionales que solo miden resultados financieros o productividad, el Balanced Scorecard propone una visión equilibrada que integra cuatro perspectivas: financiera, clientes, procesos internos y aprendizaje/crecimiento. Se explica cómo traducir la estrategia del centro de distribución en un conjunto coherente de indicadores que guíen la acción diaria.

En segundo lugar, se presentan los indicadores clave de desempeño (KPIs) específicos para centros de distribución. Se cubren las dimensiones más relevantes: precisión del inventario (qué tan confiable es el registro contra la realidad física), productividad (líneas por hora, unidades por operador), cumplimiento de pedidos (OTIF —On Time In Full), costo por unidad manipulada, utilización de espacio y equipos, entre otros. Para cada indicador se define su fórmula, su interpretación, rangos de referencia y las acciones correctivas cuando se desvían.

En tercer lugar, se abordan las metodologías de mejora continua aplicadas a centros de distribución. Se presentan el Lean Warehousing (eliminación de desperdicios en el almacén), las 5S (clasificación, orden, limpieza, estandarización y disciplina), Six Sigma (reducción de la variabilidad y los defectos) y Kaizen (mejora continua incremental mediante equipos de trabajo). Se analizan casos prácticos de aplicación de estas metodologías en procesos como recepción, picking y expedición.

Finalmente, se dedica una sección especial a la gestión del personal en centros de distribución, un factor crítico para la productividad y la mejora continua. Se abordan temas como el dimensionamiento de cuadrillas según la carga de trabajo, los sistemas de incentivos (por productividad, por precisión), la seguridad y salud ocupacional (prevención de riesgos ergonómicos y accidentes), y la formación continua como palanca de mejora.

A lo largo del capítulo, se enfatiza que los indicadores no son un fin en sí mismos, sino una herramienta para diagnosticar problemas, priorizar acciones y verificar que las mejoras implementadas efectivamente producen resultados. Un centro de distribución puede tener los mejores sistemas y la infraestructura más avanzada, pero si no mide lo que importa y no actúa sobre esas mediciones, estará operando a ciegas.

Al finalizar este capítulo, el estudiante estará en condiciones de diseñar un sistema de indicadores para un centro de distribución, calcular e interpretar los KPIs más relevantes, aplicar metodologías de mejora continua para incrementar la productividad y reducir errores, y gestionar equipos de trabajo orientados a la excelencia operativa. La medición y la mejora continua son el motor que impulsa a los centros de distribución de “operaciones funcionales” a “operaciones de clase mundial”.

Capítulo 17

Cuadro de mando integral (Balanced Scorecard) para CEDIS

1. Introducción al Balanced Scorecard

El Cuadro de Mando Integral (en inglés Balanced Scorecard o BSC) es una herramienta de gestión estratégica desarrollada por Robert Kaplan y David Norton a principios de la década de 1990. Su propósito fundamental es traducir la visión y la estrategia de una organización en un conjunto coherente de indicadores de desempeño, organizados en perspectivas equilibradas que van más allá de la tradicional mirada exclusivamente financiera.

En el contexto de un centro de distribución, el Balanced Scorecard permite responder a una pregunta crítica: ¿estamos avanzando en la dirección correcta para cumplir nuestra misión y objetivos estratégicos? Y lo hace no solo midiendo resultados pasados (indicadores rezagados o *lagging indicators*), sino también los impulsores de esos resultados (indicadores adelantados o *leading indicators*).

La palabra *balanceado* (*balanced*) es fundamental. Un centro de distribución no puede enfocarse únicamente en reducir costos (perspectiva financiera) si eso implica sacrificar la precisión de los pedidos (perspectiva del cliente) o la moral del personal (perspectiva de aprendizaje y crecimiento). El BSC obliga a los gestores a mantener una visión holística, reconociendo que todas las perspectivas están interconectadas y que el éxito sostenible requiere equilibrio.

2. Las cuatro perspectivas del Balanced Scorecard

El Balanced Scorecard organiza los indicadores en cuatro perspectivas, cada una de las cuales responde a una pregunta fundamental sobre el desempeño del centro de distribución.

2.1 Perspectiva financiera: ¿Cómo nos ven los dueños y accionistas?

Esta perspectiva responde a la pregunta fundamental de cualquier organización con fines de lucro: ¿estamos generando valor económico? En un

centro de distribución, la perspectiva financiera se centra en la eficiencia en el uso de los recursos, el control de costos y la contribución a la rentabilidad global de la cadena de suministro.

A diferencia de una empresa completa, un centro de distribución generalmente no genera ingresos directos (no vende productos), sino que incurre en costos que deben ser justificados por el valor que agrega a la cadena de suministro. Por lo tanto, los indicadores financieros de un CEDIS se enfocan en:

- **Costo por unidad manipulada:** Cuánto cuesta procesar cada unidad, caja, pallet o línea de pedido.
- **Costo logístico total como porcentaje de las ventas:** Qué proporción del valor de los productos vendidos se consume en operaciones logísticas.
- **Retorno sobre activos (ROA) del CEDIS:** Eficiencia en el uso de la inversión en infraestructura, equipos y tecnología.
- **Costo de mantenimiento de inventario:** Capital inmovilizado, almacenamiento, seguros y obsolescencia.

2.2 Perspectiva del cliente: ¿Cómo nos ven nuestros clientes?

Esta perspectiva responde a la pregunta: ¿estamos satisfaciendo las expectativas de quienes reciben nuestros servicios? Los clientes del centro de distribución pueden ser internos (tiendas propias, otras plantas de la misma empresa) o externos (clientes finales, distribuidores, mayoristas).

Los indicadores clave en esta perspectiva se centran en la calidad del servicio logístico:

- **OTIF (On Time In Full):** Porcentaje de pedidos entregados a tiempo y completos (todas las unidades solicitadas, sin daños).
- **Tiempo de ciclo del pedido:** Tiempo desde que el pedido es recibido hasta que es entregado al cliente.
- **Precisión del pedido:** Porcentaje de pedidos sin errores de producto, cantidad, etiquetado o daños.
- **Tasa de devoluciones por causa atribuible al CEDIS:** Devoluciones causadas por errores de preparación, embalaje deficiente o daños en el almacén.
- **Satisfacción del cliente (encuestas):** Percepción directa de los clientes sobre la calidad del servicio logístico.

2.3 Perspectiva de procesos internos: ¿En qué debemos ser excelentes?

Esta perspectiva responde a la pregunta: ¿Qué procesos debemos ejecutar con excelencia para satisfacer a nuestros clientes y alcanzar nuestros objetivos financieros? Se centra en la eficiencia operativa del centro de distribución.

A diferencia de las perspectivas anteriores (que miden resultados), esta perspectiva mide los impulsores de esos resultados. Si la perspectiva del cliente muestra que el OTIF está cayendo, la perspectiva de procesos internos debe identificar qué proceso específico está fallando (recepción, almacenamiento, picking, empaque o expedición).

Los indicadores clave en esta perspectiva incluyen:

- **Productividad del picking:** Líneas por hora, unidades por hora o pedidos por hora por operador.
- **Precisión del inventario:** Porcentaje de concordancia entre el inventario físico y el registrado en el WMS.
- **Tiempo de ciclo de recepción:** Tiempo desde la llegada del camión hasta que los productos están disponibles para picking.
- **Utilización de espacio:** Porcentaje del espacio de almacenamiento ocupado (optimizando entre 85-90 %).
- **Tiempo de inactividad de equipos:** Porcentaje de tiempo que los equipos (montacargas, transportadores, clasificadores) están fuera de servicio.
- **Tasa de error por proceso:** Errores de recepción, de put-away, de picking, de etiquetado.

2.4 Perspectiva de aprendizaje y crecimiento: ¿Cómo podemos seguir mejorando?

Esta perspectiva responde a la pregunta: ¿cómo mantenemos y mejoramos nuestra capacidad para cambiar y crecer? Se centra en los habilitadores intangibles del desempeño: las personas, los sistemas y la cultura organizacional.

En un centro de distribución, esta perspectiva es especialmente relevante porque la rotación de personal es alta y la capacitación continua es esencial para mantener la productividad y reducir errores.

Los indicadores clave en esta perspectiva incluyen:

- **Rotación de personal (turnover):** Porcentaje de operadores que abandonan el CEDIS en un período (anual o mensual).
- **Horas de capacitación por operador:** Inversión en formación inicial y continua.
- **Clima laboral (encuestas):** Satisfacción de los empleados, percepción de seguridad, oportunidades de crecimiento.
- **Sugerencias de mejora implementadas:** Número de ideas de los operadores que se convierten en cambios reales en los procesos.
- **Accidentabilidad:** Frecuencia y gravedad de accidentes laborales.
- **Ausentismo:** Porcentaje de horas no trabajadas por enfermedad u otras causas.

3. Relación causa-efecto entre las perspectivas

Una de las contribuciones más importantes del Balanced Scorecard es explicitar las relaciones causa-efecto entre los indicadores de las diferentes perspectivas. No se trata de cuatro listas independientes, sino de una cadena lógica donde las mejoras en una perspectiva impulsan mejoras en la siguiente.

4. Indicadores adelantados (leading) vs. rezagados (lagging)

El Balanced Scorecard distingue entre dos tipos de indicadores, ambos necesarios:

Indicadores rezagados (lagging indicators): Miden resultados ya ocurridos. Son fáciles de medir, pero no se pueden cambiar una vez que se conocen. Ejemplos: OTIF del mes pasado, costo por unidad del trimestre anterior, tasa de rotación de personal anual.

Indicadores adelantados (leading indicators): Miden los impulsores que predicen resultados futuros. Son más difíciles de medir, pero permiten tomar acciones correctivas antes de que los resultados se materialicen. Ejemplos: horas de capacitación por operador (predice futura productividad), precisión del put-away (predice futuros errores de picking), tiempo de inactividad de equipos (predice futuros retrasos).

5. Despliegue del Balanced Scorecard en un centro de distribución

La implementación del Balanced Scorecard en un CEDIS sigue un proceso sistemático que asegura que los indicadores estén alineados con la estrategia y sean accionables.

5.1 Paso 1: Definir la estrategia del centro de distribución

Antes de definir indicadores, es necesario clarificar la estrategia. No todos los centros de distribución persiguen los mismos objetivos. Algunas preguntas clave son:

- ¿Competimos por costo (ser el CEDIS más eficiente) o por servicio (ofrecer la mayor velocidad y flexibilidad)?
- ¿Cuál es nuestro nivel de servicio objetivo (OTIF del 95 %, 98 %, 99.5 %)?
- ¿Qué segmentos de clientes son prioritarios?
- ¿Qué capacidades distintivas debemos desarrollar (automatización, sostenibilidad, personalización)?

5.2 Paso 2: Seleccionar los indicadores clave (máximo 15-20)

Demasiados indicadores dispersan la atención. La práctica recomendada es seleccionar entre 15 y 20 indicadores en total, distribuidos equilibradamente entre las cuatro perspectivas. Cada indicador debe cumplir con los criterios SMART (Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound).

5.3 Paso 3: Establecer metas (targets) y rangos

Para cada indicador se definen:

- **Meta (target):** El valor que se considera éxito (ej. OTIF $\geq$ 98 %).
- **Rango de alerta:** Valores que requieren atención (ej. OTIF entre 95 % y 98 %).
- **Rango crítico:** Valores que requieren acción inmediata (ej. OTIF $<$ 95 %).

5.4 Paso 4: Definir responsables y frecuencia de medición

Cada indicador debe tener un dueño claro (un supervisor, un gerente) responsable de monitorearlo y de impulsar acciones correctivas. También se define la frecuencia de medición (diaria, semanal, mensual, trimestral).

5.5 Paso 5: Construir el tablero de control (dashboard)

Los indicadores se visualizan en un tablero que permite un vistazo rápido al estado del centro de distribución. El tablero típicamente usa un sistema de semáforo:

- **Verde:** Indicador dentro de la meta.
- **Amarillo:** Indicador en rango de alerta (requiere atención).
- **Rojo:** Indicador en rango crítico (requiere acción inmediata).

5.6 Paso 6: Revisión periódica y acciones correctivas

El Balanced Scorecard no es un ejercicio estático. Se revisa en reuniones periódicas (diarias de 15 minutos para indicadores operativos, semanales de 1 hora para tácticos, mensuales de 2 horas para estratégicos). Cada desviación en rojo o amarillo debe generar un plan de acción con responsable y fecha de resolución.

6. Ejemplo de Balanced Scorecard para un centro de distribución

A continuación, se presenta un ejemplo ilustrativo (no exhaustivo) de cómo podría verse un Balanced Scorecard para un CEDIS de retail.

Estrategia del CEDIS: Ser el centro de distribución más confiable de la región, ofreciendo 98% de OTIF con costos competitivos, mediante una fuerza laboral capacitada y procesos estandarizados.

Perspectiva financiera:

- **Costo por unidad manipulada:** meta < \$0.35, actual \$0.32 (verde)
- **Costo logístico como % de ventas:** meta < 8 %, actual 7.5 % (verde)

- **Costo de mantenimiento de inventario:** meta < \$500 000 anual, actual \$520 000 (amarillo)

Perspectiva del cliente:

- **OTIF:** meta ≥ 98 %, actual 97.2 % (amarillo — requiere atención)
- **Tiempo de ciclo del pedido:** meta < 24 horas, actual 22 horas (verde)
- **Precisión del pedido:** meta ≥ 99.5 %, actual 99.7 % (verde)
- **Tasa de devoluciones atribuibles al CEDIS:** meta < 2 %, actual 2.3 % (amarillo)

Perspectiva de procesos internos:

- **Productividad del picking (líneas/hora):** meta ≥ 120 , actual 115 (amarillo)
- **Precisión del inventario (clase A):** meta ≥ 99.5 %, actual 99.2 % (amarillo)
- **Utilización del espacio:** meta 85-90 %, actual 82 % (amarillo)
- **Tiempo de inactividad de equipos:** meta < 2 %, actual 1.8 % (verde)

Perspectiva de aprendizaje y crecimiento:

- **Rotación de personal (anual):** meta < 25 %, actual 28 % (amarillo)
- **Horas de capacitación por operador (anual):** meta ≥ 40 , actual 35 (amarillo)
- **Accidentes con tiempo perdido:** meta 0, actual 1 en el trimestre (rojo)
- **Sugerencias implementadas:** meta ≥ 20 por año, actual 12 (amarillo)

Análisis de causa-efecto:

- La rotación de personal alta (28%) y las horas de capacitación insuficientes (35 vs 40) están afectando la precisión del inventario (99.2 % vs 99.5 %) y la productividad del picking (115 vs 120).
- Esto a su vez está impactando el OTIF (97.2 % vs 98 %) y la tasa de devoluciones (2.3 % vs 2 %).
- Si no se toman medidas, en los próximos meses podría afectarse la satisfacción del cliente y, eventualmente, los costos.

Plan de acción:

- Contratar un instructor de capacitación a tiempo parcial (responsable: Gerente de RH, plazo: 30 días).
- Implementar programa de reconocimiento para reducir rotación (responsable: Gerente de CEDIS, plazo: 60 días).
- Reforzar el conteo cíclico en SKU clase A para mejorar precisión de inventario (responsable: Supervisor de inventarios, plazo: inmediato).

7. Beneficios del Balanced Scorecard en un centro de distribución

Beneficio	Descripción
Alineación estratégica	Todos los niveles de la organización entienden cómo su trabajo diario contribuye a los objetivos estratégicos.
Visión equilibrada	Evita la suboptimización (ej. reducir costos a costa del nivel de servicio).
Comunicación clara	Los indicadores son un lenguaje común que facilita la discusión del desempeño.
Identificación temprana de problemas	Los indicadores adelantados permiten corregir el rumbo antes de que los resultados se deterioren.
Responsabilidad clara	Cada indicador tiene un dueño, lo que facilita el seguimiento de acciones correctivas.
Mejora continua	El ciclo de medir, analizar, actuar y revisar institucionaliza la mejora.

8. Limitaciones y desafíos del Balanced Scorecard

- **Complejidad inicial:** Desarrollar un BSC requiere tiempo y participación de múltiples áreas.
- **Riesgo de “parálisis por análisis”:** Demasiados indicadores o mediciones demasiado frecuentes pueden abrumar a los gestores.
- **Dificultad para medir algunos indicadores:** La satisfacción del cliente o el clima laboral requieren encuestas que no siempre son precisas.
- **Mantenimiento:** El BSC debe actualizarse periódicamente (al menos anualmente) para reflejar cambios en la estrategia.
- **Cultura organizacional:** Si la organización no está acostumbrada a la medición y la transparencia, el BSC puede ser ignorado o manipulado.

9. Resumen del tema

- El Balanced Scorecard (BSC) es una herramienta de gestión estratégica que traduce la visión y estrategia de un centro de distribución en un conjunto equilibrado de indicadores de desempeño.
- Se organiza en cuatro perspectivas interconectadas: financiera (¿cómo nos ven los dueños?), clientes (¿cómo nos ven los clientes?), procesos

internos (¿en qué debemos ser excelentes?) y aprendizaje/crecimiento (¿cómo podemos seguir mejorando?).

- Existe una relación causa-efecto entre las perspectivas: las mejoras en aprendizaje y crecimiento impulsan mejoras en procesos internos, que a su vez mejoran los resultados para el cliente y, finalmente, los resultados financieros.
- Se distinguen indicadores adelantados (leading) que predicen el futuro y permiten acciones correctivas tempranas, e indicadores rezagados (lagging) que miden resultados ya ocurridos.
- La implementación del BSC sigue un proceso de seis pasos: definir la estrategia, seleccionar indicadores, establecer metas, definir responsables, construir el tablero de control y realizar revisiones periódicas con planes de acción.
- El BSC no es un ejercicio estático; debe mantenerse vivo mediante revisiones periódicas y actualizaciones estratégicas.

Preguntas de reflexión para el estudiante

1. ¿Por qué un centro de distribución no puede medir solo indicadores financieros (ej. costo por unidad) para evaluar su desempeño? ¿Qué riesgos tendría esa aproximación?

2. En un centro de distribución de e-commerce con alta estacionalidad (picos en noviembre-diciembre), ¿cómo deberían ajustarse las metas del Balanced Scorecard durante la temporada alta? ¿Qué indicadores adelantados serían especialmente relevantes?

3. Explique con un ejemplo concreto cómo una mejora en la perspectiva de aprendizaje y crecimiento (ej. reducción de la rotación de personal) puede generar una mejora en la perspectiva del cliente (ej. aumento del OTIF) a través de la perspectiva de procesos internos.

4. ¿Qué diferencia hay entre un indicador adelantado (leading) y uno rezagado (lagging)? Proponga un ejemplo de cada uno para el proceso de picking en un centro de distribución.

5. Un centro de distribución tiene un OTIF del 96 % (meta 98 %). ¿Qué indicadores de procesos internos y de aprendizaje y crecimiento debería analizar para identificar las causas raíz del problema?

6. ¿Por qué es importante que el Balanced Scorecard tenga un número limitado de indicadores (15-20) en lugar de medir todo lo que se pueda medir? ¿Qué problemas causa el exceso de indicadores?

Capítulo 18

Indicadores clave de desempeño (KPIs):
Precisión de inventario, productividad
(líneas/hora), cumplimiento de pedidos
(OTIF), costo por unidad manipulada,
utilización de espacio y equipos

1. Introducción a los KPIs en centros de distribución

Los Indicadores Clave de Desempeño (KPIs, por sus siglas en inglés Key Performance Indicators) son métricas cuantificables que permiten evaluar el éxito de una organización o de un proceso específico en relación con sus objetivos estratégicos y operativos. En un centro de distribución, los KPIs son el termómetro que indica si la operación está sana, eficiente y alineada con las expectativas de los clientes y accionistas.

No todas las métricas son KPIs. Un KPI debe cumplir con tres condiciones fundamentales: ser relevante para los objetivos estratégicos del CEDIS, ser accionable (que se pueda influir sobre él mediante acciones concretas) y ser medible de manera consistente y confiable. Medir por medir, sin un propósito claro o sin capacidad de respuesta, es un ejercicio estéril que consume recursos sin generar valor.

Este tema desarrolla cinco KPIs fundamentales en la gestión de centros de distribución. Cada uno se presenta con su definición, fórmula de cálculo, interpretación, rangos de referencia, factores que lo afectan y acciones para mejorarlo. Los KPIs seleccionados cubren dimensiones críticas del desempeño: la confiabilidad del inventario (precisión), la eficiencia del trabajo (productividad), la calidad del servicio al cliente (cumplimiento de pedidos), la gestión de costos (costo por unidad) y la optimización de activos (utilización de espacio y equipos).

2. Precisión del inventario

2.1 Definición y propósito

La precisión del inventario mide el grado de concordancia entre el inventario registrado en el sistema (WMS, ERP) y el inventario físico real existente en el centro de distribución. Es, probablemente, el KPI más fundamental de todos, porque cualquier decisión basada en un inventario incorrecto (reabastecimiento, planificación de picking, promesas de venta) estará igualmente equivocada.

Un inventario impreciso genera consecuencias graves: ventas perdidas por falta de stock (el sistema dice que hay producto, pero físicamente no está), exceso de inventario por compras innecesarias (el sistema dice que no hay, pero físicamente sí está), errores en el picking (el sistema dirige al operador a una ubicación que no contiene el producto correcto), y deterioro de la confianza en el sistema de gestión.

2.3 Rangos de referencia

Nivel de precisión	Calificación	Implicación
> 99.5 %	Excelente	Inventario altamente confiable. Los conteos cíclicos funcionan bien.
98 % - 99.5 %	Bueno	Aceptable para la mayoría de las operaciones. Requiere monitoreo continuo.
95 % - 98 %	Regular	Riesgo de desabastos y excesos. Se necesita reforzar el conteo cíclico.
< 95 %	Crítico	El inventario no es confiable. Las decisiones basadas en el sistema son peligrosas.

2.4 Factores que afectan la precisión y acciones de mejora

Factor	Efecto en precisión	Acción de mejora
Errores en recepción	Productos registrados incorrectamente al ingresar	Doble verificación, escaneo obligatorio, capacitación
Errores en put-away	Producto colocado en ubicación equivocada	Escaneo de ubicación antes de depositar, validación por WMS
Errores en picking	Producto retirado de ubicación equivocada	Escaneo de ubicación y producto, tecnología voice o pick-to-light
Robo o pérdida	Producto desaparece sin registro	Controles de acceso, videovigilancia, conteos sorpresa
Daño no registrado	Producto dañado, pero no marcado como no vendible	Inspección visual durante put-away y picking
Conteo cíclico insuficiente	Los errores persisten por mucho tiempo sin detección	Aumentar frecuencia de conteo cíclico, especialmente en clase A

3. Productividad (líneas por hora)

3.1 Definición y propósito

La **productividad en el picking** (medida comúnmente como **líneas por hora** o LPH) indica cuántas líneas de pedido es capaz de preparar un operador en una hora de trabajo efectiva. Una *línea* es cada combinación de SKU y cantidad dentro de un pedido. Por ejemplo, un pedido con 5 SKU diferentes tiene 5 líneas, independientemente de las cantidades de cada uno.

Este KPI es el más relevante para evaluar la eficiencia del proceso de picking, que, como se ha visto, representa entre el 50 % y el 70 % del costo operativo total de un centro de distribución. Mejorar la productividad en picking tiene un impacto directo y significativo en la rentabilidad del CEDIS.

Es crucial que las horas hombre incluyan todo el tiempo del operador: desplazamientos, búsqueda de productos, extracción, confirmación en el sistema y tiempos muertos (espera de tareas, descansos, etc.). Si solo se miden las horas activas (cuando el operador está escaneando), la métrica será artificialmente alta y no comparable.

3.2 Rangos de referencia por tecnología

Tecnología de picking	Productividad típica (líneas/hora)	Observaciones
Picking manual con lista en papel	30 - 60	Baja productividad, alto riesgo de error
Terminal RF (radiofrecuencia)	60 - 120	La más común en centros de distribución
Voice picking (picking por voz)	80 - 160	Manos y ojos libres, mayor velocidad
Pick-to-light	100 - 250	Muy alta, ideal para productos pequeños
Goods-to-person (AS/RS, AMR)	150 - 300	El operador no se desplaza
Picking automatizado (robots)	300 - 600+	Sin intervención humana

3.3 Factores que afectan la productividad y acciones de mejora

Factor	Efecto en productividad	Acción de mejora
Distancia de recorrido	Mayor distancia = menor productividad	Optimizar layout, slotting de SKU clase A cerca del picking
Método de picking	Picking por orden es lento para pedidos pequeños	Usar picking por lote o por zona según perfil
Tecnología	Papel es más lento que RF, RF más lento que voice	Invertir en tecnología adecuada
Capacitación	Operadores no capacitados son más lentos	Programa de entrenamiento continuo
Organización del almacén	SKU desordenados o mal ubicados	Slotting dinámico, clasificación ABC
Saturación de pasillos	Congestión reduce velocidad	Rediseñar layout, ampliar pasillos críticos

4. Cumplimiento de pedidos (OTIF)

4.1 Definición y propósito

El OTIF (On Time In Full) es el indicador rey de la calidad del servicio logístico. Mide el porcentaje de pedidos que cumplen simultáneamente con tres condiciones:

- **On Time (a tiempo):** El pedido fue entregado en la fecha y hora prometida al cliente.
- **In Full (completo):** El pedido contiene todas las unidades solicitadas, sin faltantes ni sobrantes.
- **In Condition (en condiciones):** El pedido llegó sin daños y con la documentación correcta (implícito en la definición más amplia).

El OTIF es un indicador compuesto y exigente: un pedido que llega a tiempo, pero le falta una unidad, no cuenta como OTIF. Un pedido completo, pero que llega un día tarde, tampoco cuenta.

4.2 Rangos de referencia por industria

Industria	OTIF típico (bueno)	OTIF excelente	Observaciones
Retail masivo	95 % - 98 %	99 %	Alta competencia, márgenes ajustados
E-commerce	90 % - 96 %	98 %	Alta variabilidad, entregas a domicilio
Farmacéutica	98 % - 99.5 %	99.9 %	Requisitos regulatorios estrictos
Automotriz (JIT)	99 % - 99.9 %	99.99 %	Una falla puede detener una línea de producción
Alimentos perecederos	95 % - 98 %	99 %	Caducidad y cadena de frío añaden complejidad

4.3 Descomposición del OTIF

El OTIF se puede descomponer en sus componentes para identificar la causa raíz de las fallas:

- **OT (On Time):** Porcentaje de pedidos entregados a tiempo (independientemente de la completitud).
- **IF (In Full):** Porcentaje de pedidos entregados completos (independientemente del tiempo).
- **OTIF:** $OT \times IF$ (aproximadamente, si son independientes).

Por ejemplo, si $OT = 98 \%$ e $IF = 97 \%$, entonces $OTIF \approx 98 \% \times 97 \% = 95.1 \%$. Esto muestra cómo pequeñas fallas en cada dimensión se multiplican y reducen significativamente el OTIF.

4.4 Factores que afectan el OTIF y acciones de mejora

Componente	Causas de falla	Acciones de mejora
On Time (tiempo)	Planificación de rutas deficiente, congestión en expedición, fallo de transportista, picking tardío	Optimización de rutas (TMS), programación de citas, KPIs a transportistas, planificación de oleadas

Componente	Causas de falla	Acciones de mejora
In Full (cantidad)	Faltantes por picking incorrecto, inventario insuficiente (stockout), error en consolidación	Precisión de picking (tecnología), stock de seguridad ajustado, verificación en consolidación
In Condition (condición)	Embalaje deficiente, daño durante picking o carga, producto caducado	Optimización de cajas, capacitación en manejo, control de caducidades (FEFO)

5. Costo por unidad manipulada

5.1 Definición y propósito

El costo por unidad manipulada (también llamado costo por transacción o unit handling cost) mide cuánto cuesta procesar una unidad de producto (puede ser una caja, un pallet, una línea de pedido o un pedido completo) a lo largo de todos los procesos del centro de distribución.

Este KPI es el indicador financiero más relevante para la gestión diaria del CEDIS, porque resume la eficiencia global de la operación. A diferencia del costo logístico total como porcentaje de las ventas (que depende también del valor de los productos), el costo por unidad manipulada es puramente operativo.

6. Utilización de espacio y equipos

6.1 Definición y propósito

La utilización de espacio mide qué porcentaje del área o volumen disponible en el centro de distribución está siendo efectivamente utilizado para almacenar productos. La utilización de equipos mide qué porcentaje del tiempo los equipos (montacargas, transportadores, clasificadores, robots) están operando productivamente frente al tiempo total disponible.

Ambos indicadores son críticos porque el espacio y los equipos representan inversiones de capital significativas. Un espacio subutilizado es capital inmovilizado que no genera retorno; un equipo subutilizado es una inversión que no se amortiza.

7. Resumen del tema

- Los KPIs son métricas cuantificables que permiten evaluar el éxito de un centro de distribución en relación con sus objetivos estratégicos y operativos.
- La precisión del inventario mide la concordancia entre el inventario registrado y el físico. Rangos excelentes >99.5 %. Es el KPI más fundamental.
- La productividad (líneas/hora) mide la eficiencia del picking. Varía según tecnología (30-60 con papel, 60-120 con RF, 80-160 con voice, 100-250 con pick-to-light, 150-300 con goods-to-person).
- El OTIF (On Time In Full) mide el porcentaje de pedidos entregados a tiempo, completos y en condiciones. Es el indicador rey de la calidad del servicio al cliente. Rangos excelentes: 98-99 % en retail, 99.9 % en farmacéutica.
- El costo por unidad manipulada resume la eficiencia financiera global del CEDIS. Se calcula como costo total de operación dividido por número de unidades manipuladas (pallets, cajas, líneas, etc.).
- La utilización de espacio y equipos mide qué porcentaje de la capacidad instalada se está utilizando productivamente. Rangos excelentes: 85-90 % para área, 70-85 % para volumen, 70-85 % para equipos móviles, 85-95 % para equipos automatizados.
- Los KPIs deben analizarse de manera integrada. Una mejora en un KPI no debe lograrse a costa del deterioro de otro. El equilibrio es la clave.

Preguntas de reflexión para el estudiante

1. ¿Por qué la precisión del inventario es considerada el KPI más fundamental? ¿Qué consecuencias tiene una precisión del 95 % en un centro de distribución de e-commerce con 50 000 SKU?

2. Un centro de distribución tiene una productividad de 80 líneas/hora con tecnología RF. ¿Qué acciones concretas podría tomar para aumentarla a 120 líneas/hora sin cambiar de tecnología?

3. Explique por qué el OTIF es un indicador más exigente que medir por separado el tiempo de entrega y la completitud. ¿Qué fallas puede ocultar medir solo el tiempo de entrega?

4. ¿Cómo afecta la estacionalidad a la utilización del espacio? ¿Qué estrategias puede implementar un CEDIS para no tener que construir un almacén dimensionado para el pico de diciembre si ese pico solo dura 4 semanas?

5. Calcule el costo por línea de un centro de distribución que tiene costos mensuales de \$120 000 y procesa 200 000 líneas. Si logra aumentar la productividad en un 20 % sin aumentar los costos fijos, ¿cómo cambia el costo por línea?

6. Un almacén tiene una utilización de área del 70 % y una utilización volumétrica del 45 %. ¿Qué problema revela esta diferencia? ¿Qué tipo de sistema de almacenamiento recomendaría para mejorarla?

Capítulo 19

Metodologías de mejora continua: Lean Warehousing, 5S, Six Sigma, Kaizen y reducción de desperdicios (muda)

1. Introducción a la mejora continua en centros de distribución

La mejora continua es una filosofía de gestión que busca la perfección incremental mediante la identificación y eliminación sistemática de desperdicios, la reducción de la variabilidad y el empoderamiento de los equipos de trabajo. En el contexto de un centro de distribución, la mejora continua no es un proyecto con fecha de inicio y fin, sino una forma de operar que involucra a todos los niveles de la organización, desde los operadores de piso hasta la alta dirección.

Un centro de distribución que no mejora continuamente se estanca, y en un entorno competitivo, estancarse es equivalente a retroceder. Las metodologías de mejora continua proporcionan las herramientas y los marcos conceptuales para avanzar de manera sistemática, basada en datos y con participación del personal.

Este tema desarrolla cinco metodologías complementarias. En primer lugar, el Lean Warehousing, que adapta los principios del Lean Manufacturing (originados en Toyota) al entorno del almacén, enfocándose en la eliminación de los siete tipos de desperdicio (muda). En segundo lugar, las 5S, una metodología de organización del lugar de trabajo que es la base de cualquier iniciativa Lean. En tercer lugar, Six Sigma, una metodología orientada a reducir la variabilidad y los defectos mediante el uso de herramientas estadísticas. En cuarto lugar, Kaizen, la filosofía de mejora continua incremental mediante equipos de trabajo y eventos intensivos de mejora. Finalmente, la reducción de desperdicios (muda) como concepto unificador que atraviesa todas las metodologías.

2. Los siete desperdicios (muda) en el centro de distribución

El concepto de muda (palabra japonesa que significa “desperdicio” o “actividad que no agrega valor”) es el corazón de la filosofía Lean. En un

centro de distribución, se identifican siete tipos de desperdicio, adaptados del modelo original de Toyota.

2.1 Descripción de cada desperdicio y ejemplos en un CEDIS

1. Sobreproducción (producir más de lo necesario):

- Procesar pedidos antes de que sean necesarios, generando inventario en proceso que ocupa espacio.
- Preparar más picking del que la expedición puede procesar, creando acumulación.
- **Ejemplo:** Preparar todos los pedidos del día en la primera hora de la mañana, causando congestión en el área de consolidación.

2. Esperas (tiempo ocioso):

- Operadores esperando que el WMS asigne la siguiente tarea.
- Camiones esperando para descargar por falta de muelles disponibles.
- Productos esperando en colas de transportadores.
- **Ejemplo:** Operador de montacargas esperando 10 minutos a que se despeje un pasillo congestionado.

3. Transporte innecesario (movimiento de materiales):

- Mover productos entre áreas que podrían estar adyacentes.
- Recorridos largos entre la recepción y el almacenamiento.
- **Ejemplo:** Un producto que se recibe en el muelle A, se almacena en la zona B, se lleva a picking en la zona C y luego se consolida en la zona D, cuando todas estas áreas podrían estar más cerca.

4. Movimientos innecesarios (del personal):

- Operadores caminando largas distancias para buscar productos.
- Agacharse, estirarse o girar excesivamente por mala ergonomía.
- **Ejemplo:** Un picker recorre 15 km por turno porque los SKU clase A están en ubicaciones alejadas.

5. Inventario excesivo (más del necesario):

- Stock de seguridad sobredimensionado.
- Productos obsoletos que no se liquidan.
- Exceso de materiales de empaque.
- **Ejemplo:** Mantener 6 meses de inventario de un SKU que rota cada 2 semanas.

6. Defectos (errores que requieren corrección):

- Errores de picking (producto o cantidad incorrecta).
- Errores de etiquetado.
- Productos dañados durante la manipulación.
- **Ejemplo:** Un operador prepara 500 líneas por día, pero comete 5 errores que requieren 30 minutos de corrección cada uno.

7. Talento subutilizado (desperdicio del potencial humano):

- Operadores que podrían contribuir con ideas de mejora, pero no son escuchados.
- Habilidades no aprovechadas (ej. un operador con conocimientos de Excel haciendo solo picking).
- **Ejemplo:** Un operador identifica una mejora en el layout que reduciría 200 metros de recorrido diario, pero no tiene un canal para reportarla.

3. Lean Warehousing

3.1 Definición y principios

Lean Warehousing es la adaptación de los principios del Lean Manufacturing (Sistema de Producción Toyota) al entorno de los centros de distribución. Su objetivo es maximizar el valor entregado al cliente (pedidos correctos, a tiempo, sin daños) mientras se minimizan los desperdicios (muda) que no agregan valor.

El Lean Warehousing se basa en cinco principios fundamentales:

- 1. Identificar el valor desde la perspectiva del cliente:** Para un CEDIS, el valor es un pedido entregado a tiempo, completo y sin daños. Todo lo demás (esperas, movimientos, inventario) es desperdicio.
- 2. Mapear la cadena de valor:** Documentar cada paso del flujo del producto desde la recepción hasta la expedición, identificando qué pasos agregan valor y cuáles no.
- 3. Crear flujo continuo:** Eliminar las interrupciones, esperas y retrocesos para que los productos fluyan suavemente de un proceso al siguiente.
- 4. Establecer sistemas pull (jalar):** Los productos solo se procesan cuando el cliente (interno o externo) los demanda, no antes. Esto evita la sobreproducción.

5. **Buscar la perfección:** La mejora continua es infinita; siempre hay desperdicio que eliminar.

3.2 Herramientas Lean aplicadas a centros de distribución

Herramienta	Aplicación en CEDIS
Value Stream Mapping (VSM)	Mapa del flujo de valor que identifica tiempos de valor agregado vs. desperdicios en cada proceso
Takt Time	Ritmo de producción necesario para satisfacer la demanda del cliente. Ayuda a dimensionar recursos
Kanban	Sistema visual de tarjetas o contenedores que controla el flujo de materiales (ej. dos contenedores, uno en uso y uno en reposición)
Poka-Yoke (aprovechamiento de errores)	Dispositivos o procedimientos que evitan errores humanos (ej. escáner que no permite avanzar si el código no coincide)
Andon (señal de parada)	Sistema de luces o pantallas que alerta cuando un proceso tiene un problema y necesita atención
Estandarización de trabajo	Procedimientos documentados y visuales para cada tarea, asegurando consistencia

3.3 Ejemplo de aplicación de Lean Warehousing

Problema: En un centro de distribución de retail, los operadores de picking recorren en promedio 12 km por turno. El análisis de value stream mapping revela que el 40 % del tiempo se gasta caminando entre ubicaciones.

Análisis Lean:

- Se identifican los SKU clase A (80 % del movimiento) y se observa que están dispersos en todo el almacén.
- Se aplica el principio de “flujo continuo” reorganizando los SKU clase A en una zona dedicada cerca del área de expedición.
- Se implementa un sistema Kanban para reabastecer esa zona desde el almacenamiento de reserva.

Resultado: La distancia recorrida se reduce a 6 km por turno (50 % de reducción). La productividad aumenta de 80 a 120 líneas/hora.

4. Metodología 5S

4.1 Definición y propósito

Las 5S son una metodología de organización y limpieza del lugar de trabajo que tiene su origen en Toyota. Su nombre proviene de cinco palabras japonesas que comienzan con “S”: Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke. En español, se traducen como: Clasificación, orden, limpieza, estandarización y disciplina.

Las 5S son la base de cualquier iniciativa Lean. No se puede mejorar un proceso si el lugar de trabajo está desordenado, sucio o desorganizado. Las 5S crean el entorno visual y disciplinado que permite identificar desperdicios y mantener las mejoras en el tiempo.

4.2 Aplicación de las 5S en un centro de distribución

Antes de las 5S (situación típica):

- Herramientas (escáneres, transpaletas) dejadas en cualquier lugar.
- Pasillos obstruidos con pallets vacíos o productos temporales.
- Etiquetas de ubicación ilegibles o faltantes.
- Desorden en las estaciones de empaque (materiales de relleno esparcidos).
- Operadores perdiendo tiempo buscando herramientas.

Después de las 5S:

- Cada herramienta tiene un lugar asignado y marcado (ej. “lugar del escáner RF” con silueta pintada).
- Pasillos despejados, con líneas pintadas que delimitan áreas de almacenamiento temporal.
- Todas las ubicaciones de estanterías tienen etiquetas legibles y escaneables.
- Estaciones de empaque organizadas con contenedores etiquetados para cada tipo de material.
- Los operadores dedican cero minutos a buscar herramientas.

4.3 Beneficios de las 5S en un CEDIS

- **Reducción de tiempos de búsqueda:** Los operadores encuentran lo que necesitan al instante.
- **Mejora de la seguridad:** Pasillos despejados reducen accidentes.
- **Mayor productividad:** Menos tiempo perdido en movimientos innecesarios.
- **Calidad:** Un ambiente limpio y ordenado reduce errores y daños a los productos.
- **Moral del personal:** Trabajar en un ambiente organizado mejora la satisfacción laboral.
- **Base para otras metodologías:** Sin 5S, Lean, Six Sigma y Kaizen son difíciles de implementar.

5. Six Sigma

5.1 Definición y propósito

Six Sigma es una metodología de mejora de la calidad que busca reducir la variabilidad en los procesos y eliminar los defectos. Fue desarrollada por Motorola en la década de 1980 y popularizada por General Electric. El nombre “Six Sigma” se refiere a un nivel de calidad de 3.4 defectos por millón de oportunidades (DPMO), lo que equivale a un proceso que opera con una variabilidad de 6 desviaciones estándar (σ) respecto a la media.

En un centro de distribución, Six Sigma se aplica para reducir errores de picking, errores de put-away, errores de etiquetado, daños a productos y cualquier otro defecto que afecte la calidad del servicio.

5.2 DMAIC: el ciclo de mejora de Six Sigma

Six Sigma utiliza el ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) para abordar problemas existentes. Cada fase tiene herramientas específicas.

5.3 Ejemplo de aplicación de Six Sigma en un CEDIS

Problema: La precisión del picking en un centro de distribución de electrónicos es del 99.0 % (10,000 errores por millón de líneas). La meta es 99.9 % (1,000 errores por millón).

Fase 1. Definir:

- **Proyecto:** Reducir errores de picking de 1 % a 0.1 %.
- **Alcance:** Zona de productos pequeños (clase B y C).
- **Equipo:** Supervisor de picking, ingeniero de calidad, dos operadores.
- **Meta:** 90 % de reducción de errores en 4 meses.

Fase 2. Medir:

- **Se recopilan datos de errores durante 2 semanas:** 500 errores registrados en 50 000 líneas (1 %).
- **Se categorizan los errores:** producto incorrecto (60 %), cantidad incorrecta (25 %), ubicación incorrecta (15 %).
- **Se calcula la capacidad del proceso (sigma):** 1% defectos $\approx$ 3.8 sigma.

Fase 3. Analizar:

- Se realiza un diagrama de Ishikawa (causa-efecto) para identificar causas raíz.
- Se identifican tres causas principales:
 1. Los SKU de apariencia similar (ej. dos modelos de cargadores) están en ubicaciones adyacentes.
 2. Los operadores nuevos no reciben capacitación suficiente (solo 1 hora antes de empezar).
 3. La iluminación en la zona es deficiente, dificultando la lectura de etiquetas.

Fase 4. Mejorar:

- Se reubican los SKU de apariencia similar en zonas separadas (acción de poka-yoke).
- Se implementa un programa de capacitación de 8 horas para nuevos operadores, con evaluación práctica.
- Se instalan luces LED adicionales en la zona (medición de lux antes/después: 200 $\rightarrow$ 500 lux).

Fase 5. Controlar:

- Se monitorea la precisión del picking semanalmente mediante muestreo estadístico.
- Se crea un tablero visual con el desempeño de cada operador.
- Se establece una auditoría mensual de 5S en la zona.

Resultado: Después de 4 meses, la precisión del picking aumenta a 99.94 % (600 errores por millón). El proyecto Six Sigma logró una reducción de errores del 94 %.

6. Kaizen

6.1 Definición y principios

Kaizen es una palabra japonesa que significa “cambio para mejorar” o “mejora continua”. A diferencia de Six Sigma (que se enfoca en proyectos intensivos y a menudo costosos), Kaizen se basa en la filosofía de que pequeñas mejoras incrementales, realizadas diariamente por todos los empleados, se acumulan en grandes avances a lo largo del tiempo.

Kaizen se manifiesta de dos maneras:

- **Kaizen diario:** Pequeñas mejoras continuas realizadas por los operadores en su trabajo diario (ej. reorganizar un estante para reducir un movimiento).
- **Evento Kaizen (o Kaizen Blitz) :** Sesión intensiva de 3-5 días donde un equipo multidisciplinario se enfoca en mejorar un proceso específico, con el objetivo de lograr mejoras significativas en poco tiempo.

6.2 Evento Kaizen (Kaizen Blitz) en un centro de distribución

Estructura típica de un evento Kaizen de 5 días:

Día	Actividades
Día 1 (Preparación)	Definir el alcance del evento, seleccionar el equipo (6-10 personas de diferentes áreas), recopilar datos iniciales, documentar el proceso actual.

Día	Actividades
Día 2 (Observación)	Ir al lugar de trabajo (Gemba), observar el proceso en acción, medir tiempos, identificar desperdicios, entrevistar a operadores.
Día 3 (Ideación)	Generar ideas de mejora (brainstorming), evaluar factibilidad, seleccionar las mejores, diseñar el nuevo proceso.
Día 4 (Implementación)	Implementar los cambios en el área piloto (ej. reubicar estanterías, cambiar procedimientos, ajustar layout).
Día 5 (Validación y estandarización)	Medir los resultados, comparar con la línea base, documentar el nuevo proceso estándar, presentar resultados a la dirección.

Ejemplo de evento Kaizen en un CEDIS:

- **Problema:** El área de consolidación de pedidos (donde se juntan los productos de diferentes zonas de picking) es un cuello de botella. Los pedidos esperan 45 minutos en promedio antes de ser consolidados.
- **Evento Kaizen de 5 días:** El equipo rediseña el layout del área de consolidación, cambia la secuencia de llegada de las bandejas (de FIFO a prioridad por tiempo de espera), y estandariza el método de trabajo.
- **Resultado:** El tiempo de espera se reduce de 45 a 12 minutos (73 % de mejora) sin inversión de capital.

7. Resumen del tema

- La mejora continua es una filosofía de gestión que busca la perfección incremental mediante la identificación y eliminación sistemática de desperdicios.
- Los siete desperdicios (muda) en un centro de distribución son: sobreproducción, esperas, transporte innecesario, movimientos innecesarios, inventario excesivo, defectos y talento subutilizado.
- Lean Warehousing adapta los principios del Lean Manufacturing al entorno del almacén, enfocándose en flujo continuo, sistemas pull y eliminación de desperdicios. Herramientas clave: Value Stream Mapping, Takt Time, Kanban, Poka-Yoke.
- 5S es la metodología base de organización del lugar de trabajo: Clasificación, orden, limpieza, estandarización y disciplina. Crea el entorno visual y disciplinado necesario para otras metodologías.
- Six Sigma busca reducir la variabilidad y los defectos mediante el ciclo

DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar). Su objetivo es 3.4 defectos por millón de oportunidades (6 sigma).

- Kaizen es la filosofía de mejora continua incremental mediante pequeños cambios diarios (ciclo PDCA) y eventos intensivos de 5 días (Kaizen Blitz).
- Todas las metodologías se complementan: las 5S y el Kaizen diario son la base operativa; los eventos Kaizen abordan problemas específicos; Six Sigma resuelve problemas complejos; Lean Warehousing proporciona los principios estratégicos.

Preguntas de reflexión para el estudiante

1. Identifique al menos un ejemplo de cada uno de los siete desperdicios (muda) en un centro de distribución típico. ¿Cómo los eliminaría?

2. ¿Por qué las 5S son consideradas la “base” de cualquier iniciativa de mejora continua? ¿Qué dificultades tendría implementar Lean Warehousing en un almacén desordenado?

3. ¿Cuál es la diferencia fundamental entre Six Sigma y Kaizen? ¿En qué tipo de problema usaría una metodología y en cuál la otra?

4. Un centro de distribución tiene una precisión de picking del 99 % (10 000 errores por millón de líneas). ¿Cuántos sigma representa aproximadamente? ¿Qué nivel de mejora se necesitaría para alcanzar 99.9 % (1000 errores por millón)?

5. Diseñe un evento Kaizen de 5 días para reducir el tiempo de ciclo de recepción en un CEDIS. ¿Qué actividades realizaría cada día? ¿Qué métricas mediría antes y después?

6. Explique cómo el concepto de *poka-yoke* (a prueba de errores) podría aplicarse para evitar errores de put-away en un centro de distribución.

7. ¿Cómo se relaciona la metodología 5S con la reducción de los desperdicios de “movimientos innecesarios” y “esperas”?

8. Un operador propone una mejora que reduciría 30 segundos por cada línea de picking. Si el CEDIS procesa 1 millón de líneas al año, ¿cuántas horas de trabajo se ahorrarían anualmente? ¿Por qué es importante tener un canal para que los operadores reporten este tipo de ideas?

Capítulo 20

**Gestión de personal en centros de
distribución: Dimensionamiento de
cuadrillas, incentivos, seguridad y salud
ocupacional**

1. Introducción a la gestión del personal en CEDIS

El factor humano es, simultáneamente, el activo más valioso y el más crítico en la operación de un centro de distribución. A pesar de los avances en automatización y robótica, la mayoría de los centros de distribución siguen dependiendo intensamente del trabajo humano para tareas como el picking, la recepción, el empaque y la consolidación. En un CEDIS típico, los costos de mano de obra representan entre el 50 % y el 70 % del costo operativo total.

Sin embargo, la gestión del personal en un centro de distribución presenta desafíos singulares. La alta rotación de personal (frecuentemente superior al 50 % anual), la intensidad física del trabajo, los riesgos ergonómicos y de seguridad, y la necesidad de productividad constante requieren un enfoque de gestión que equilibre la eficiencia operativa con el bienestar de los trabajadores.

Este tema aborda tres dimensiones fundamentales de la gestión del personal en centros de distribución. En primer lugar, el dimensionamiento de cuadrillas, que responde a la pregunta de cuántas personas se necesitan, en qué horarios y con qué habilidades. En segundo lugar, los sistemas de incentivos, que buscan alinear los intereses de los operadores con los objetivos de productividad y calidad del centro. En tercer lugar, la seguridad y salud ocupacional, que aborda los riesgos ergonómicos (lesiones por movimientos repetitivos, levantamiento de cargas) y la prevención de accidentes, aspectos críticos tanto por razones humanitarias como por su impacto en la continuidad operativa.

2. Dimensionamiento de cuadrillas

2.1 Definición y propósito

El dimensionamiento de cuadrillas es el proceso de determinar el número óptimo de operadores necesarios en cada turno y en cada área funcional del centro de distribución (recepción, almacenamiento, picking, empaque,

expedición) para cumplir con los objetivos de productividad y nivel de servicio. Un dimensionamiento deficiente genera dos problemas opuestos:

- **Sobre-dimensionamiento:** Exceso de personal, aumento de costos improductivos, operadores ociosos.
- **Sub-dimensionamiento:** Falta de personal, retrasos en los pedidos, horas extra excesivas, fatiga del personal, aumento de errores y accidentes.

2.2 Método de dimensionamiento basado en tiempo estándar

El método más común para dimensionar cuadrillas se basa en tiempos estándar por tarea. El proceso sigue los siguientes pasos:

Paso 1: Determinar la demanda pronosticada

- Para cada hora del día o para cada turno, se pronostica el volumen de trabajo (ej. número de líneas de picking, número de pallets a recibir, número de pedidos a empaquetar).

Paso 2: Calcular las horas de trabajo requeridas

$$= \frac{\text{Horas requerida} \times \text{Volumen de trabajo} \times \text{Tiempo estándar por unidad}}{\text{Eficiencia Esperada}}$$

Paso 3: Calcular el número de operadores

$$= \frac{\text{Número de operadores} \times \text{Horas requeridas}}{\text{Horas disponibles por operador}}$$

2.3 Factores que afectan el dimensionamiento

Factor	Impacto	Consideración
Estacionalidad	Picos de demanda requieren más personal temporal	Planificar contrataciones con anticipación (ej. 2 meses antes de navidad)
Ausentismo	Operadores faltan por enfermedad o razones personales	Agregar un factor de holgura del 10-15 %

Factor	Impacto	Consideración
Rotación de personal	Operadores nuevos son menos productivos	Incluir curva de aprendizaje en el cálculo (primeras 2-4 semanas)
Capacitación cruzada	Operadores pueden apoyar en múltiples áreas	Permite redimensionamiento dinámico según cuellos de botella
Tecnología	Mayor automatización reduce necesidad de personal	Considerar en planes de largo plazo

2.4 Dimensionamiento para múltiples áreas

Un centro de distribución no puede dimensionar cada área de forma independiente sin considerar los flujos entre ellas. El dimensionamiento integrado asegura que los ritmos de producción estén balanceados.

3. Sistemas de incentivos

3.1 Definición y propósito

Los sistemas de incentivos son mecanismos de compensación variable que vinculan una parte del salario de los operadores con su desempeño individual o de equipo. Su propósito es alinear los intereses de los trabajadores con los objetivos del centro de distribución: mayor productividad, mejor precisión, menor ausentismo, etc.

Un sistema de incentivos bien diseñado puede aumentar la productividad entre un 15 % y un 30 %, reducir el ausentismo y la rotación, y mejorar el clima laboral. Un sistema mal diseñado puede generar competencia desleal entre operadores, sacrificio de la calidad por la velocidad y resentimiento.

3.2 Tipos de sistemas de incentivos

Incentivos individuales por productividad:

- El operador recibe un bono por superar una meta de líneas por hora (ej. meta 100 líneas/hora, bono de \$5 por cada 10 líneas adicionales).
- **Ventaja:** Fácil de medir, motiva directamente.
- **Desventaja:** Puede sacrificar calidad, fomenta competencia, no considera trabajo en equipo.

Incentivos de equipo:

- El bono se distribuye entre todos los miembros de un equipo (ej. toda la zona de picking) si se alcanza la meta colectiva.
- **Ventaja:** Fomenta colaboración, reduce comportamientos individualistas.
- **Desventaja:** Puede generar “aprovechados” (quienes no se esfuerzan, pero reciben el bono).

Incentivos por calidad (precisión):

- Se bonifica a los operadores que alcanzan o superan una meta de precisión (ej. 99.9 % de líneas sin error).
- **Ventaja:** Equilibra productividad y calidad.
- **Desventaja:** Puede ralentizar el trabajo si los operadores se vuelven excesivamente cautelosos.

Incentivos combinados:

- El bono depende de una fórmula que incluye productividad, calidad y asistencia.
- **Ventaja:** Balancea múltiples objetivos.
- **Desventaja:** Más complejo de administrar y comunicar.

Sistemas de participación en ahorros (gain-sharing):

- Una parte de los ahorros generados por mejoras de productividad se distribuye entre los operadores.
- **Ventaja:** Alinea los intereses con los resultados financieros del CEDIS.
- **Desventaja:** El vínculo entre esfuerzo individual y ahorro puede ser difuso.

3.3 Consideraciones para un diseño efectivo de incentivos

Principio	Explicación
Metas alcanzables pero desafiantes	Metas imposibles desmotivan; metas demasiado fáciles no generan esfuerzo adicional.
Medición objetiva y transparente	Los operadores deben poder ver sus métricas en tiempo real (tableros visuales).
Pago rápido	Bonos mensuales o quincenales son más motivadores que anuales.
Incluir calidad	No incentivar solo velocidad; equilibrar con precisión y seguridad.

Principio	Explicación
Comunicación clara	Los operadores deben entender exactamente cómo se calcula su bono.
Revisión periódica	Las metas deben ajustarse si cambian las condiciones operativas (ej. nuevo WMS más eficiente).

3.4 Riesgos de los sistemas de incentivos mal diseñados

- **Sacrificio de la calidad:** Operadores que priorizan velocidad sobre precisión.
- **Competencia dañina:** Operadores que esconden información o no ayudan a compañeros.
- **Estrés y fatiga:** Sobre esfuerzo por alcanzar metas, aumentando riesgo de accidentes.
- **Manipulación de métricas:** Registro incorrecto de tiempos o productos para aparentar mayor productividad.
- **Desmotivación de operadores con bajo desempeño:** Pueden sentirse penalizados y aumentar la rotación.

4. Seguridad y salud ocupacional

4.1 Definición y propósito

La seguridad y salud ocupacional (también conocida como prevención de riesgos laborales) es el conjunto de políticas, procedimientos y prácticas destinadas a proteger la integridad física y mental de los trabajadores durante el desempeño de sus funciones. En un centro de distribución, la seguridad no es solo una obligación legal y ética, sino también un factor crítico de productividad: un accidente laboral genera costos directos (médicos, indemnizaciones) e indirectos (paralización de operaciones, baja moral, rotación).

Los centros de distribución presentan riesgos específicos debido a la combinación de maquinaria pesada (montacargas), movimiento constante de personas y equipos, levantamiento de cargas y ritmos de trabajo intensos.

4.2 Riesgos ergonómicos

Los riesgos ergonómicos son aquellos relacionados con la interacción entre el trabajador y su entorno físico, que pueden causar lesiones musculoesqueléticas a corto o largo plazo.

4.2.1 Principales riesgos ergonómicos en un CEDIS

Riesgo	Descripción	Tareas afectadas	Consecuencias
Levantamiento manual de cargas	Levantar objetos pesados sin ayuda mecánica.	Recepción, put-away, picking de productos pesados.	Lesiones de espalda, hernias.
Movimientos repetitivos	Realizar la misma acción cientos de veces por turno.	Picking (agacharse, estirarse), empaque.	Síndrome del túnel carpiano, tendinitis
Posturas forzadas	Agacharse, estirarse, girar el tronco excesivamente.	Picking en niveles bajos o altos de estanterías.	Dolor lumbar, cervical.
Empuje y tracción	Mover carros, transpaletas, contenedores.	Picking con carros, consolidación.	Lesiones de hombros y brazos.
Vibraciones	Operar montacargas o equipos vibratorios por tiempo prolongado.	Operadores de montacargas.	Problemas de columna, trastornos circulatorios.

4.2.2 Prevención de riesgos ergonómicos

Medida preventiva	Descripción	Implementación
Diseño ergonómico del puesto	Ajustar alturas de estanterías, equipos y superficies de trabajo.	Involucrar a operadores en el diseño; usar estándares ergonómicos (ISO 11226).
Ayudas mecánicas	Proporcionar equipos para levantar cargas pesadas.	Elevadores de vacío, grúas pórtico, mesas elevadoras.
Rotación de tareas	Cambiar a los operadores entre diferentes actividades cada 2-4 horas.	Programación de turnos que incluya rotación planificada.
Capacitación en técnicas de levantamiento	Enseñar a levantar con las piernas, no con la espalda.	Entrenamiento inicial y refuerzos anuales.

Medida preventiva	Descripción	Implementación
Pausas activas	Ejercicios de estiramiento durante la jornada.	Líderes de equipo que guíen pausas de 5 minutos.
Evaluación de riesgos	Identificar tareas de alto riesgo ergonómico.	Métodos REBA (Rapid Entire Body Assessment) o OWAS.

4.3 Prevención de accidentes

4.3.1 Principales tipos de accidentes en centros de distribución

Tipo de accidente	Causas comunes	Consecuencias típicas
Atropello por montacargas	Falta de visibilidad, exceso de velocidad, peatones distraídos	Lesiones graves, muerte
Caída al mismo nivel	Pisos mojados, objetos en pasillos, mala iluminación	Esguinces, fracturas
Caída a distinto nivel	Subirse a estanterías, plataformas sin protección	Fracturas, traumatismos
Golpe con objetos	Carga mal asegurada, estanterías inestables	Contusiones, laceraciones
Atrapamiento	Entre montacarga y estantería, en transportadores	Lesiones graves en extremidades
Corte o punción	Manejo de cúteres, materiales con bordes afilados	Heridas, infecciones

4.3.2 Elementos clave de un programa de prevención de accidentes

Elemento	Descripción	Frecuencia
Identificación de peligros	Inspecciones regulares para identificar condiciones inseguras	Semanal
Capacitación en seguridad	Entrenamiento inicial y periódico sobre procedimientos seguros	Al ingreso, luego anual
Equipos de protección personal (EPP)	Chalecos reflectantes, calzado de seguridad, guantes, protección auditiva	Uso diario obligatorio
Señalización y demarcación	Líneas, carteles, espejos, luces	Permanente
Procedimientos de trabajo seguro	Instrucciones estandarizadas para tareas de alto riesgo (ej. manejo de montacargas)	Documentados y visibles

Elemento	Descripción	Frecuencia
Investigación de accidentes	Análisis de causas raíz de cada accidente o incidente	Cada accidente
Comité de seguridad	Equipo con representantes de trabajadores y gerencia	Reunión mensual

4.3.3 Indicadores de seguridad

Indicador	Fórmula	Interpretación
Tasa de frecuencia de accidentes	$(\text{Número de accidentes con baja} / \text{Horas trabajadas}) \times 1\,000\,000$	Menor es mejor. Referencia: <10 en logística
Tasa de gravedad	$(\text{Días perdidos por accidentes} / \text{Horas trabajadas}) \times 1000$	Menor es mejor
Índice de incidencia	$(\text{Número de accidentes} / \text{Número promedio de trabajadores}) \times 100$	Menor es mejor
Días sin accidentes	Días consecutivos sin accidentes con baja	Mayor es mejor (motivador visual)

5. Integración de dimensionamiento, incentivos y seguridad

Estas tres dimensiones de la gestión del personal no operan de forma aislada. Un sistema de incentivos que solo premia la productividad puede inducir comportamientos inseguros (ej. operadores que corren con montacargas). Un dimensionamiento ajustado al mínimo puede generar fatiga y aumentar los accidentes. Una política de seguridad excesivamente rígida puede reducir la productividad y generar frustración.

6. Resumen del tema

- El dimensionamiento de cuadrillas determina el número óptimo de operadores por turno y área, basado en tiempos estándar, demanda pronosticada y eficiencia esperada. Un mal dimensionamiento genera sobrecostos o retrasos.
- Los sistemas de incentivos vinculan parte del salario con el desempeño. Pueden ser individuales, de equipo, por calidad o combinados. Un diseño efectivo equilibra productividad, calidad y seguridad.

- Los riesgos ergonómicos en centros de distribución incluyen levantamiento manual de cargas, movimientos repetitivos, posturas forzadas y vibraciones. La prevención incluye diseño ergonómico, ayudas mecánicas, rotación de tareas y pausas activas.
- La prevención de accidentes aborda riesgos como atropellos por montacargas, caídas, golpes y atrapamientos. Las medidas clave incluyen separación peatones-montacargas, señalización, EPP, capacitación y comités de seguridad.
- Las tres dimensiones están interrelacionadas. El equilibrio entre dimensionamiento, incentivos y seguridad es fundamental para una operación sostenible y productiva.

Preguntas de reflexión para el estudiante

1. Un centro de distribución tiene una demanda altamente estacional (picos en noviembre-diciembre 3 veces superiores al promedio). ¿Cómo diseñaría el dimensionamiento de personal para evitar tener operadores ociosos 10 meses al año?

2. Proponga un sistema de incentivos para operadores de picking que equilibre productividad (líneas/hora), calidad (precisión) y seguridad (cero accidentes). ¿Cómo ponderaría cada componente?

3. Identifique al menos tres riesgos ergonómicos en la tarea de put-away (colocar productos en estanterías altas) y proponga medidas para mitigarlos.

4. ¿Por qué la rotación de tareas (cambiar a los operadores entre diferentes actividades cada 2-3 horas) reduce tanto el riesgo ergonómico como la monotonía laboral? ¿Qué desafíos presenta su implementación?

5. Calcule el número de operadores necesarios para el turno matutino de un área de empaque que procesa 12 000 pedidos, con un tiempo estándar de 0.8 minutos por pedido, eficiencia esperada del 90 % y 7 horas efectivas por operador. ¿Cuántos operadores adicionales se necesitan si el ausentismo promedio es del 12 %?

6. ¿Qué elementos debe tener un programa de capacitación en seguridad para operadores nuevos de montacargas? ¿Por qué la capacitación teórica no es suficiente?

7. Un operador tiene una productividad excelente (30 % por encima de la meta) pero una precisión del 99.0 % (por debajo de la meta de 99.5 %). ¿Cómo debería reflejarse esto en su bono mensual? ¿Qué mensaje envía cada diseño de incentivo?

8. ¿Cómo se relaciona la seguridad laboral con la rotación de personal? ¿Por qué los centros de distribución con alta rotación suelen tener también más accidentes?

Referencias

I. Fundamentos y estrategia

- Ballou, R. H. (2004). *Logística: Administración de la cadena de suministro* (5.^a ed.). Pearson Educación.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2016). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation* (6.^a ed.). Pearson.
- Chopra, S. (2003). Designing the distribution network in a supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 39(2), 123–140. [https://doi.org/10.1016/S1366-5545\(02\)00032-0](https://doi.org/10.1016/S1366-5545(02)00032-0)
- Coyle, J. J., Langley, C. J., Novack, R. A., & Gibson, B. J. (2016). *Supply chain management: A logistics perspective* (10.^a ed.). Cengage Learning.
- Erlebacher, S. J., & Meller, R. D. (2000). The interaction of location and inventory in designing distribution systems. *IIE Transactions*, 32(2), 155–166. <https://doi.org/10.1080/07408170008967393>
- Geoffrion, A. M., & Graves, G. W. (1974). Multicommodity distribution system design by Benders decomposition. *Management Science*, 20(5), 822–844. <https://doi.org/10.1287/mnsc.20.5.822>
- Geoffrion, A. M., & Powers, R. F. (1995). Twenty years of strategic distribution system design: An evolutionary perspective. *Interfaces*, 25(5), 105–127. <https://doi.org/10.1287/inte.25.5.105>
- Günther, H. O., & Holzapfel, A. (2022). Designing the breadth and depth of distribution networks in the retail trade. *International Journal of Production Economics*, 250, 108125. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108125>
- Holzapfel, A., Hübner, A., Kuhn, H., & Sternbeck, M. G. (2018). Product allocation to different types of distribution center in retail logistics networks. *European Journal of Operational Research*, 264(3), 948–966. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.07.017>
- Keller, S. B., & Keller, B. C. (2014). *The definitive guide to warehousing: Managing the storage and handling of materials and products in the supply chain*. Pearson Education.
- Lambert, D. M. (Ed.). (2014). *Supply chain management: Processes, partnerships, performance* (4.^a ed.). Supply Chain Management Institute.
- Martel, A., & Klibi, W. (2016). *Designing value-creating supply chain networks*.

Springer.

- Martel, A., & Klibi, W. (2016). Supply chain networks optimization. En *Designing value-creating supply chain networks* (Cap. 7, pp. 203–265). Springer.
- Melo, M. T., Nickel, S., & Saldanha-da-Gama, F. (2009). Facility location and supply chain management – A review. *European Journal of Operational Research*, 196(2), 401–412. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.05.007>
- Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2014). *The handbook of logistics and distribution management* (5.^a ed.). Kogan Page.
- Watson, M., Lewis, S., Cacioppi, P., & Jayaraman, J. (2013). *Supply chain network design: Applying optimization and analytics to the global supply chain*. FT Press.
- Yu, V. F., Normasari, N. M. E., & Luong, H. T. (2015). *Integrated location-production-distribution planning in a multiproducts supply chain network design model*. Mathematical Problems in Engineering, 2015, Article 473172. <https://doi.org/10.1155/2015/473172>

II. Diseño y planificación de infraestructura

- Bartholdi, J. J. & Hackman, S. T. (2019). *Warehouse & distribution science: Release 0.98*. Supply Chain and Logistics Institute, Georgia Institute of Technology. <https://www.warehouse-science.com>
- Chan, F. T. S. & Chan, H. K. (2005). A simulation study of a cross-docking system. *International Journal of Simulation and Process Modelling*, 1(3–4), 154–162. <https://doi.org/10.1504/IJSPM.2005.009022>
- Esmacilian, B., Behdad, S. & Wang, B. (2016). The evolution and future of manufacturing: A review. *Journal of Manufacturing Systems*, 39, 79–100. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.12.003>
- Frazelle, E. H. (2016). *World-class warehousing and material handling* (2.^a ed.). McGraw-Hill.
- Groover, M. P. (2014). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing* (4.^a ed.). Pearson.
- Gu, J., Goetschalckx, M. & McGinnis, L. F. (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 177(1), 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.11.034>

- Koster, R. de, Le-Duc, T. & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 481–501. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009>
- Mulcahy, D. E. (2019). *Warehouse & distribution automation handbook*. McGraw-Hill.
- Richards, G. (2017). *Warehouse management: A complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse* (3.^a ed.). Kogan Page.
- Roodbergen, K. J. & Vis, I. F. A. (2009). A survey of literature on warehouse design. *International Journal of Production Research*, 47(8), 2205–2240. <https://doi.org/10.1080/00207540701842845>
- Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., Van Houtum, G. J., Mantel, R. J. & Zijm, W. H. M. (2000). Warehouse design and control: Framework and literature review. *European Journal of Operational Research*, 122(3), 515–533. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00022-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00022-X)
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A. & Tanchoco, J. M. A. (2010). *Facilities planning* (4.^a ed.). John Wiley & Sons.

III. Procesos operativos y gestión de flujos

- Bartholdi, J. J. & Hackman, S. T. (2019). *Warehouse & distribution science* (Cap. 5: Layout). Georgia Institute of Technology.
- Chan, F. T. S. & Chan, H. K. (2005). A simulation study of a cross-docking system. *International Journal of Simulation and Process Modelling*, 1(3–4), 154–162. <https://doi.org/10.1504/IJSPM.2005.009022>
- Frazelle, E. H. (2016). *World-class warehousing and material handling* (2.^a ed., Cap. 5: Layout of the warehouse). McGraw-Hill.
- Koster, R. de, Le-Duc, T. & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 481–501. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009>
- Roodbergen, K. J. & Vis, I. F. A. (2009). A survey of literature on warehouse design. *International Journal of Production Research*, 47(8), 2205–2240. <https://doi.org/10.1080/00207540701842845>
- Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., Van Houtum, G. J., Mantel, R. J. & Zijm, W. H. M. (2000). Warehouse design and control: Framework

- and literature review. *European Journal of Operational Research*, 122(3), 515–533. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00022-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00022-X)
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A. & Tanchoco, J. M. A. (2010). *Facilities planning* (4.^a ed., Caps. 5: Layout planning; 8: Facilities systems). John Wiley & Sons.

IV. Gestión de inventarios y tecnología

- Aggrandize Venture. (2024). *Integrating your TMS with ERP and WMS systems*. <https://aggrandizeventure.com>
- Bartholdi, J. J. & Hackman, S. T. (2019). *Warehouse & distribution science: Release 0.98*. Supply Chain and Logistics Institute, Georgia Institute of Technology.
- Boysen, N., De Koster, R. & Weidinger, F. (2019). Warehousing in the e-commerce era: A survey. *European Journal of Operational Research*, 277(2), 396–411. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.11.052>
- Christopher, M. (2016). *Logistics & supply chain management* (5.^a ed.). Pearson.
- Chopra, S. & Meindl, P. (2016). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation* (6.^a ed.). Pearson.
- De Koster, R., Le-Duc, T. & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 481–501. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009>
- Flex Logistics. (2026). *7 formas en que la IA mejora la previsión de la demanda*. Flex Logistics Europe.
- Frazelle, E. H. (2016). *World-class warehousing and material handling* (2.^a ed.). McGraw-Hill.
- Glock, C. H. & Grosse, E. H. (2021). The impact of Industry 4.0 on warehouse management: A systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 59(22), 6867–6895. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1843735>
- Goldratt, E. M. & Cox, J. (2014). *La meta: Un proceso de mejora continua* (3.^a ed.). Ediciones Díaz de Santos.

- Groover, M. P. (2014). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing* (4.^a ed.). Pearson.
- GS1. (2020). *GS1 standards in logistics and supply chain*. GS1 Global. <https://www.gs1.org>
- Gu, J., Goetschalckx, M. & McGinnis, L. F. (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 177(1), 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.11.034>
- Hugos, M. H. (2018). *Essentials of supply chain management* (4.^a ed.). John Wiley & Sons.
- Kembro, J. H. & Norrman, A. (2020). Warehouse configuration in omni-channel retailing: A multiple case study. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 50(5), 509–533. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-05-2019-0155>
- McKinsey & Company. (2021). *The digital twin opportunity in supply chain*.
- Nfor. (2025). *Sistema de gestión de almacenes (WMS): Capacidades clave para la optimización omnicanal*. Infor Corporation.
- Ontruck. (2025, 15 de abril). *Gemelos digitales en logística: ¿Qué beneficios tienen?* <https://ontruck.com/blog/gemelos-digitales-logistica/>
- Oracle. (2024). *IA en logística: Beneficios y aplicaciones potenciales*. Oracle Corporation.
- Rushton, A., Croucher, P. & Baker, P. (2014). *The handbook of logistics and distribution management* (5.^a ed.). Kogan Page.
- Simio. (2025). *Dominar la creación de gemelos digitales: Guía práctica para principiantes*. Simio LLC. <https://www.simio.com/resources/articles/digital-twin-guide-for-beginners/>
- Stanton, D. (2018). *Supply chain management for dummies* (2.^a ed.). John Wiley & Sons.
- Vandeput, N. (2021). *Data science for supply chain forecasting*. De Gruyter.

V. Indicadores, productividad y mejora continua

- Arnold, D. (Ed.). (2008). *Handbuch Logistik* (3.^a ed.). Springer-Verlag.
- Arnold, D. & Furmans, K. (2005). *Materialfluss in Logistiksystemen* (5.^a ed.). Springer-Verlag.

- Bartholdi, J. J. & Hackman, S. T. (2019). *Warehouse & distribution science: Release 0.98*. Supply Chain and Logistics Institute, Georgia Institute of Technology. <https://www.warehouse-science.com>
- Emmett, S. (2005). *Excellence in warehouse management: How to minimize costs and maximize value*. Wiley.
- Frazelle, E. H. (2016). *World-class warehousing and material handling* (2.^a ed.). McGraw-Hill.
- Gudehus, T. (2005). *Logistik* (3.^a ed.). Springer-Verlag.
- Hirano, H. (2017). *5 pilares de la fábrica visual: La fuente para la implantación de las 5S* (1.^a ed.). Taylor and Francis.
- Imai, M. (2014). *Gemba kaizen: Un enfoque de sentido común para una estrategia de mejora continua* (2.^a ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Kaizen Institute. (2022). *Gemba Kaizen™: Un enfoque de sentido común para una estrategia de mejora continua* [e-book]. Kaizen Institute.
- Kaplan, R. S. & Norton, D. P. (1996). *The balanced scorecard: Translating strategy into action*. Harvard Business School Press.
- Martin, H. (1999). *Praxiswissen Materialflussplanung: Transport, handhaben, lagern, kommissionieren*. Vieweg.
- Mulcahy, D. E. (2019). *Warehouse & distribution automation handbook*. McGraw-Hill.
- Roodbergen, K. J. (2007). *Warehouse literature*. [Compilación no publicada].
- Rushton, A., Croucher, P. & Baker, P. (2014). *The handbook of logistics and distribution management* (5.^a ed.). Kogan Page.
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A. & Tanchoco, J. M. A. (2010). *Facilities planning* (4.^a ed.). John Wiley & Sons.
- Wisser, J. (2009). *Der Prozess Lagern und Kommissionieren im Rahmen des Distribution Center Reference Model (DCRM)*. Universitätsverlag Karlsruhe.
- Zylstra, K. D. (2006). *Lean distribution: Applying lean manufacturing to distribution, logistics, and supply chain*. John Wiley & Sons.]

Glosario

A

Agv (automated guided vehicle): vehículo guiado automáticamente que se desplaza sobre rieles, marcas magnéticas o cables en el piso, utilizado para transportar materiales dentro de un centro de distribución sin intervención humana.

Albarán (delivery note): documento que acompaña a un envío de mercancía, detallando los productos, cantidades y condiciones de la entrega. El cliente lo utiliza para verificar la recepción.

Almacén tradicional: instalación logística cuyo propósito principal es la custodia de mercancías por periodos prolongados, con baja rotación de inventarios y escaso valor agregado en los procesos.

Amr (autonomous mobile robot): robot móvil autónomo capaz de navegar sin infraestructura guía (como cables o rieles), utilizando sensores, cámaras y algoritmos de navegación para desplazarse de manera inteligente.

Analítica de datos: proceso de examinar, limpiar, transformar y modelar datos con el objetivo de extraer información útil, apoyar la toma de decisiones y descubrir patrones no evidentes. Se clasifica en descriptiva, diagnóstica, predictiva y prescriptiva.

Analítica descriptiva: nivel de analítica que responde a la pregunta “¿qué pasó?” mediante la agregación y visualización de datos históricos (ej. dashboards, reportes).

Analítica diagnóstica: nivel de analítica que responde a la pregunta “¿por qué pasó?”, mediante técnicas de *drill-down*, correlación y segmentación de datos.

Analítica predictiva: nivel de analítica que responde a la pregunta “¿qué pasará?”, mediante modelos estadísticos o de machine learning que pronostican comportamientos futuros.

Analítica prescriptiva: nivel de analítica que responde a la pregunta “¿qué deberíamos hacer?” mediante técnicas de optimización y simulación que recomiendan acciones.

As/rs (automated storage and retrieval system): sistema automatizado de almacenamiento y recuperación que utiliza transelevadores para depositar y extraer productos (generalmente pallets o bandejas) en estanterías de alta altura, sin intervención humana directa.

B

Batch picking (picking por lote): metodología de preparación de pedidos en la que se agrupan varios pedidos en un lote, se recolectan las cantidades agregadas por SKU en un solo recorrido y luego se clasifican por pedido individual en una estación de clasificación.

Bin packing (empaquete en contenedores): algoritmo de optimización que determina la disposición más eficiente de productos dentro de una caja o contenedor, minimizando el volumen desperdiciado y maximizando la utilización del espacio.

C

Cadena de frío: conjunto de procesos y equipos que mantienen los productos perecederos dentro de un rango de temperatura específico desde su origen hasta su destino final, garantizando su calidad e inocuidad.

Cantilever: sistema de almacenamiento diseñado para productos largos o voluminosos (tubos, perfiles, madera), consistente en un mástil vertical del que sobresalen brazos horizontales que sostienen los productos.

Cartonization (optimización de cajas): proceso de seleccionar, para cada pedido, el tamaño y tipo de caja más adecuado, minimizando el volumen total del envío y el uso de materiales de relleno.

Cedis (centro de distribución): instalación logística especializada en recibir, almacenar, procesar y despachar productos con alta rotación, actuando como nodo estratégico de la cadena de suministro.

Clasificación ABC: método de análisis de inventarios que clasifica los SKU en tres categorías según su importancia relativa (a: alta rotación/valor, b: media, c: baja), basado en el principio de Pareto (80/20).

Clasificador automático (sorter): equipo automatizado que lee códigos de barras o RFID en productos en movimiento y los desvía hacia carriles de salida específicos según su destino, transportista o ruta.

Código de barras: sistema de representación de datos mediante un patrón de barras paralelas de diferentes anchos y espacios, legible por escáneres ópticos. Puede ser lineal (1d) o bidimensional (2d).

Código QR (quick response): código de barras bidimensional que almacena información en una matriz de puntos cuadrados. Puede contener cientos de veces más información que un código lineal.

Competencia: conjunto de conocimientos, habilidades, actitudes y valores que un profesional demuestra en el desempeño de sus funciones, permitiéndole responder a las demandas del entorno laboral.

Consolidación: proceso de reunir todos los productos que pertenecen a un mismo pedido cuando estos han sido preparados en diferentes zonas del almacén o por diferentes operadores.

Conteo cíclico (inventario cíclico): método de auditoría de inventarios que consiste en contar físicamente una parte del inventario cada día, de modo que todo el inventario se cuente un número determinado de veces al año sin paralizar las operaciones.

Costo de emisión de pedido (costo de ordenar): costo asociado a realizar un pedido de reabastecimiento, incluyendo actividades administrati-

vas, transporte, recepción y verificación. Disminuye por unidad cuando se piden lotes más grandes.

Costo de mantenimiento de inventario: costo asociado a mantener inventario almacenado, incluyendo capital inmovilizado, almacenamiento, seguros, impuestos y riesgo de obsolescencia. Aumenta con lotes más grandes.

Cross-docking: técnica logística en la cual los productos que ingresan al centro de distribución se transfieren directamente desde el área de recepción al área de expedición, con tiempo de permanencia mínimo (generalmente menos de 24 horas), eliminando el almacenamiento.

D

Demanda: cantidad de productos que los clientes solicitan en un período determinado. Puede ser constante, intermitente, con tendencia o estacional.

Descarga: proceso físico de retirar los productos del vehículo de transporte (camión, contenedor, furgoneta) y trasladarlos al área de recepción del centro de distribución.

Despacho: proceso final del centro de distribución que consiste en trasladar los pedidos ya embalados y etiquetados desde el área de consolidación hasta los vehículos de transporte, documentar su salida y coordinar la salida con los transportistas.

Digital twin (gemelo digital): representación virtual dinámica y actualizada en tiempo real de un centro de distribución que refleja su estado, comportamiento y evolución, utilizada para simular escenarios y optimizar operaciones.

Disposición final: conjunto de procesos para manejar los productos devueltos que no pueden ser reintegrados al inventario, incluyendo reciclaje, donación, incineración con recuperación de energía o vertedero.

Distribución en planta (layout): disposición física de las áreas de trabajo, equipos de almacenamiento, pasillos, muelles de carga y descarga, y zonas administrativas dentro de un centro de distribución.

Docking scheduling (programación de citas): proceso de asignar a cada proveedor o transportista una hora específica para la llegada y descarga de sus productos, con el fin de evitar la congestión en los muelles de recepción.

Drive-in / drive-through: sistema de almacenamiento compacto en el que el montacargas ingresa dentro de túneles formados por las estanterías para depositar o retirar pallets. En la variante drive-through, el túnel tiene salida por ambos extremos, permitiendo FIFO.

E

E-fulfillment center: centro de distribución diseñado específicamente para atender pedidos individuales de consumidores finales (B2C), con alta rotación, alta variedad de SKU y capacidades para manejar devoluciones frecuentes.

Embalaje: proceso de acondicionar los productos ya preparados en contenedores adecuados para su protección durante el transporte, facilitando su identificación y manejo.

EOQ (economic order quantity): lote económico que minimiza el costo total anual de inventario, balanceando el costo de emisión de pedido y el costo de mantenimiento de inventario.

ERP (enterprise resource planning): sistema de planificación de recursos empresariales que integra todas las áreas funcionales de una empresa (finanzas, compras, ventas, producción, inventario corporativo) en una única base de datos.

Estacionalidad: patrones regulares y predecibles de aumento o disminución de la demanda asociados a factores calendarizados (clima, festividades, temporadas comerciales).

Estanterías selectivas: sistema de almacenamiento más común, consistente en estructuras metálicas modulares con marcos verticales y vigas horizontales que sostienen productos (generalmente pallets), con acceso directo e independiente a cada posición.

F

Factor de servicio (z): número de desviaciones estándar correspondiente al nivel de servicio deseado en el cálculo del stock de seguridad. Un factor más alto implica mayor protección contra desabasto, pero mayor inventario.

FEFO (first expired, first out): método de rotación de inventarios que prioriza la fecha de caducidad sobre la fecha de ingreso. Sale primero el producto cuya fecha de caducidad es más cercana, independientemente de cuándo ingresó.

FIFO (first in, first out): ver PEPS.

Flujo en i (layout lineal): disposición de un centro de distribución donde las áreas de recepción y expedición se ubican en extremos opuestos, con flujo lineal de materiales.

Flujo en L: disposición de un centro de distribución donde las áreas de recepción y expedición se ubican en dos lados adyacentes del edificio (formando una esquina de 90°).

Flujo en T: disposición de un centro de distribución donde la recepción se ubica en un punto y la expedición se divide en dos brazos (o viceversa), permitiendo atender múltiples canales de salida.

Flujo en U: disposición de un centro de distribución donde las áreas de recepción y expedición se ubican en el mismo lado del edificio, con flujo en forma de u.

Fulfillment: conjunto de procesos que van desde la recepción de un pedido hasta su entrega al cliente, incluyendo picking, empaque, etiquetado y despacho.

G

Gemelo digital: ver digital twin.

Gestión de devoluciones (logística inversa): conjunto de procesos mediante los cuales los productos fluyen desde el cliente hacia el centro de distribución, con el propósito de recuperar valor, garantizar garantías o disponer adecuadamente de productos no comercializables.

Goods-to-person: sistema de picking en el que los productos son transportados automáticamente (mediante AS/RS, miniload o AMR) hasta una estación fija donde el operador los extrae, eliminando los desplazamientos del operador.

I

Indicador clave de desempeño (KPI): métrica cuantificable que permite evaluar el desempeño de un proceso o actividad en relación con objetivos predefinidos.

Integración de sistemas: conexión y comunicación fluida entre diferentes sistemas de información (ERP, WMS, TMS, WCS) mediante interfaces, APIs o middleware, permitiendo el intercambio automático de datos.

Internet de las cosas (IoT): red de objetos físicos (dispositivos, sensores, productos) integrados con electrónica, software y conectividad, que les permite recopilar, procesar y transmitir datos.

Inventario obsoleto (dead stock): productos que han perdido su valor comercial porque están caducados, dañados, son técnicamente obsoletos o tienen demanda nula.

K

KPI (key performance indicator): ver indicador clave de desempeño.

L

Layout: ver distribución en planta.

Lead time: tiempo que transcurre desde la emisión de un pedido de reabastecimiento hasta su recepción en el centro de distribución.

LIFO (last in, first out): ver ueps.

Línea de pedido: cada línea individual dentro de un pedido, que especifica un SKU y una cantidad. El número de líneas por pedido es un factor crítico para la productividad del picking.

Logística inversa: ver gestión de devoluciones.

Lote económico: ver eqq.

M

Manifiesto de carga (carta porte): documento legal que acompaña a un envío, listando los bultos transportados, su peso, origen, destino y el transportista responsable.

Metodología de picking: estrategia que define cómo se organizan y ejecutan las tareas de extracción de productos (por orden, por lote, por zona, wave picking).

Micro-fulfillment center (MFC): centro de distribución de pequeña escala (500-2000 m²) ubicado en zonas urbanas, diseñado para entregas en 2 horas o el mismo día.

Middleware: capa de software que actúa como intermediario entre diferentes sistemas, facilitando la comunicación, transformación de datos y orquestación de procesos.

Miniload: variante del AS/RS diseñada para manejar cargas ligeras y pequeñas (cajas, bandejas, contenedores), con alta velocidad de recuperación para alimentar estaciones de picking goods-to-person.

Modelo de operación: decisión estratégica sobre quién operará los centros de distribución (operador propio, 3PL, 4PL o modelos híbridos).

N

Nivel de servicio: conjunto de desempeños que la red logística ofrece a sus clientes, incluyendo tiempo de ciclo, confiabilidad, precisión, disponibilidad, flexibilidad e información.

No conformidad: producto o servicio que no cumple con los requisitos o especificaciones establecidas. En recepción, una no conformidad puede ser un faltante, sobrante, producto equivocado o daño.

O

Obsolescencia: pérdida de valor comercial de un producto por razones técnicas, comerciales, caducidad o daño.

Oleada (wave): conjunto de pedidos agrupados por criterios comunes (ruta de entrega, transportista, prioridad) que se procesan juntos en una ventana de tiempo determinada.

Order picking: ver picking.

OTIF (on time in full): indicador que mide el porcentaje de pedidos entregados a tiempo y completos (todas las unidades solicitadas, sin daños, en la fecha prometida).

Outsourcing logístico: externalización total o parcial de las operaciones logísticas (incluyendo centros de distribución) a proveedores especializados (3PL o 4PL).

P

PEPS (primeras entradas, primeras salidas): método de rotación de inventarios en el que los productos que ingresaron primero al almacén son los primeros en salir. Equivalente a FIFO (first in, first out).

Perfil de demanda: descripción del comportamiento de los pedidos de un SKU a lo largo del tiempo en términos de frecuencia, volumen por pedido, variabilidad y tendencia.

Pick-by-vision: tecnología de picking que utiliza gafas de realidad aumentada para proyectar información digital (ubicaciones, cantidades, rutas) sobre el campo de visión del operador.

Pick-to-light: tecnología de picking asistida por luces, donde módulos con display digital y botón en cada ubicación se iluminan para indicar al operador qué producto extraer y en qué cantidad.

Picking: proceso de extraer productos de sus ubicaciones de almacenamiento para conformar los pedidos de los clientes. Es el proceso de mayor intensidad de mano de obra en un centro de distribución.

Picking por lote: ver batch picking.

Picking por orden: metodología de preparación de pedidos en la que un operador toma un pedido completo y recorre el almacén extrayendo todos los productos de ese pedido antes de comenzar el siguiente.

Política de ubicación: estrategia que define el criterio mediante el cual se determina dónde colocar cada SKU dentro del centro de distribución (fija, aleatoria o mixta).

Programación de citas: ver docking scheduling.

Punto de reorden (ROP): nivel de inventario que, al ser alcanzado, activa la emisión de un nuevo pedido de reabastecimiento. Se calcula como la demanda durante el lead time más el stock de seguridad.

Push-back: sistema de almacenamiento compacto donde los pallets se cargan sobre carriles inclinados con carros; al cargar uno nuevo, empuja a los anteriores hacia atrás, y al retirar el delantero, los traseros descienden por gravedad (funciona bajo principio LIFO).

Put-away: proceso de trasladar los productos ya verificados y aceptados desde el área de recepción hasta sus ubicaciones definitivas dentro del centro de distribución.

Put-to-light: tecnología de clasificación y consolidación donde las luces en los contenedores de destino indican al operador qué cantidad de producto debe colocar en cada contenedor. Es el inverso del pick-to-light.

R

Racks de doble profundidad (double deep racks): sistema de almacenamiento donde cada posición tiene capacidad para dos pallets en línea (uno detrás de otro), aumentando la densidad a costa de una selectividad media.

Recepción: primer eslabón de la cadena de procesos operativos de un centro de distribución, que incluye la programación de citas, descarga, verificación, control de calidad y put-away.

Reintegración: proceso de incorporar nuevamente los productos devueltos al inventario disponible para la venta, ya sea como nuevos, “open box” o reacondicionados.

Reubicación (relocation): proceso de mover productos de una ubicación de almacenamiento a otra sin que medie un pedido de venta o una recepción, con fines de optimización operativa.

RF (radiofrecuencia): tecnología de comunicación inalámbrica utilizada en terminales portátiles que se comunican con el WMS para guiar a los operadores en tiempo real durante la recepción, put-away y picking.

RFID (radio frequency identification): tecnología que utiliza ondas de radio para identificar y rastrear objetos mediante etiquetas (tags) que contienen un chip y una antena. Permite lectura sin línea de visión y de múltiples etiquetas simultáneamente.

Rotación de inventarios: número de veces que el inventario de un SKU se renueva en un período (generalmente un año). Se calcula como unidades vendidas / inventario promedio.

RTLS (real-time location system): sistema de localización en tiempo real que determina la posición de objetos o personas dentro de un edificio con precisión de metros o centímetros, utilizando tecnologías como UWB, Wi-Fi o BLE.

S

Simulación de procesos: técnica que modela el comportamiento de un sistema a lo largo del tiempo mediante la ejecución de un modelo computacional que representa sus componentes, interacciones y reglas de operación.

SKU (stock keeping unit): unidad de mantenimiento de stock; cada producto distinto que se almacena, identificado por sus características únicas (tamaño, peso, rotación, condiciones de conservación, etc.).

Slotting: proceso de asignación de ubicaciones de almacenamiento a los SKU, considerando criterios como rotación, tamaño, peso, compatibilidad y frecuencia de acceso conjunto.

Sorter: ver clasificador automático.

Stock de seguridad (safety stock): cantidad adicional de inventario que se mantiene por encima de la demanda esperada para protegerse contra la variabilidad en la demanda y en el tiempo de reabastecimiento.

T

Tecnología de identificación: conjunto de sistemas (códigos de barras, RFID, IoT) que permiten identificar de manera única y rápida productos, ubicaciones o equipos dentro de un centro de distribución.

Tiempo de ciclo del pedido: tiempo que transcurre desde que el cliente realiza un pedido hasta que lo recibe. En el contexto del cedis, puede referirse al tiempo desde la asignación del pedido hasta su despacho.

TMS (Transportation Management System): sistema de gestión de transporte que planifica, ejecuta y optimiza el movimiento de productos desde el centro de distribución hasta los clientes, incluyendo selección de transportistas, consolidación de envíos, optimización de rutas y seguimiento.

Transelevador (stacker crane): equipo automatizado utilizado en sistemas AS/RS que se desplaza sobre rieles en los pasillos y tiene un mástil vertical que sube y baja una horquilla para depositar o extraer productos en cualquier posición de la estantería.

Trazabilidad: capacidad de seguir el historial, la aplicación o la localización de un producto a lo largo de la cadena de suministro, desde su origen hasta su destino final.

U

UEPS (últimas entradas, primeras salidas): método de rotación de inventarios en el que los productos que ingresaron más recientemente son los primeros en salir. Equivalente a LIFO (last in, first out).

Ubicación aleatoria (caótica): política de ubicación donde los productos se

colocan en cualquier ubicación disponible en el momento de la recepción, sin posiciones preasignadas por SKU. El WMS registra dónde está cada producto.

Ubicación fija (dedicada): política de ubicación donde cada SKU tiene una o varias ubicaciones permanentes y exclusivas, reservadas para ese SKU independientemente de si hay inventario presente.

Ubicación mixta (zonificada): política de ubicación que combina elementos de la ubicación fija y aleatoria, dividiendo el almacén en zonas según criterios predefinidos (rotación, tamaño, temperatura) y aplicando una política específica dentro de cada zona.

UHF (Ultra High Frequency): banda de frecuencia (860-960 mhz) utilizada en sistemas RFID para aplicaciones logísticas, que permite alcances de 1 a 12 metros y lectura rápida de múltiples etiquetas.

V

Verificación: proceso de cotejar la mercancía recibida contra la documentación de respaldo (orden de compra, albarán, manifiesto de carga) para confirmar cantidades y tipos de producto.

Voice picking: tecnología de picking que utiliza comandos de voz sintetizada y reconocimiento de voz para guiar al operador, liberando sus manos y ojos. El sistema habla las instrucciones y el operador responde por voz.

W

Wave picking: metodología de picking que agrupa pedidos en oleadas (waves) según criterios como ruta de entrega, transportista o prioridad, y procesa todos los pedidos de una oleada antes de pasar a la siguiente.

WCS (Warehouse Control System): sistema de control de almacén que se sitúa entre el WMS y los equipos automatizados (transportadores, clasificadores, AS/RS, AMR), traduciendo órdenes de trabajo en comandos de bajo nivel en tiempo real.

WMS (Warehouse Management System): sistema de gestión de almacenes que controla y optimiza todas las actividades relacionadas con el movimiento y almacenamiento de materiales dentro de un centro de distribución.

Z

Zone picking (picking por zona): metodología de preparación de pedidos en la que el almacén se divide en zonas geográficas y cada operador es responsable exclusivamente de su zona. Los productos de cada zona se consolidan para completar el pedido.

Zonificación: división del almacén en áreas con propósitos definidos según criterios como rotación, tamaño, tipo de producto o temperatura, para optimizar la asignación de recursos y la eficiencia operativa.

Administración de centros de distribución: modelos, tecnología y sostenibilidad

Se terminó de imprimir en Julio de 2026

en los talleres gráficos de Astra Ediciones

Av. Acueducto 829, Colonia Santa Margarita, C. P. 45140,

Zapopan, Jalisco

E-mail: edicion@astraeditorial.com.mx

www.astraeditorialshop.com

Impresión digital con interiores en papel bond 75g.

portada en cartulina sulfatada 12 pts.

El tiraje consta de 100 ejemplares



Este libro, Administración de Centros de Distribución: Modelos, Tecnología y Sostenibilidad, ha sido concebido como una herramienta integral para estudiantes universitarios, profesionistas y directivos que buscan comprender y aplicar los principios modernos de gestión de centros de distribución. A lo largo de sus capítulos, se combinan fundamentos teóricos con casos prácticos, metodologías de mejora continua, tecnologías de vanguardia y criterios de sostenibilidad, todo ello orientado a la formación de un profesional capacitado para diseñar, operar, optimizar y transformar centros de distribución en entornos dinámicos y exigentes.

ISBN: 979-13-88349-22-5



9 791388 349225



Consulta y descarga

