



METODOLOGÍA DE DISEÑO DE ALMACENES: Fases, herramientas y mejores prácticas.

MEMORIA

Presentada para optar al título de
Doctor por la Universidad de Navarra por

Claudia Chackelson Lurner

Bajo la supervisión de
Ander Errasti Opacua y

Javier Santos García

Donostia-San Sebastián, febrero 2013



tecnun
Universidad
de Navarra

METODOLOGÍA DE DISEÑO DE ALMACENES: Fases, Herramientas y mejores prácticas.

MEMORIA

presentada para optar al título de
Doctor por la Universidad de Navarra por

Claudia Chackelson Lurner

bajo la supervisión de

Ander Errasti Opacua y

Javier Santos García

Donostia-San Sebastián, febrero de 2013

Servicio de Publicaciones de la Universidad de Navarra

ISBN 978-84-8081-380-8

Agradecimientos

Reconozco que cuando comencé este camino tenía grandes expectativas pero nunca imaginé que las mismas iban a ser superadas tan ampliamente. Si miro hacia atrás, veo que todas las decisiones, errores y aciertos, me han traído hasta donde estoy ahora...

Termina una etapa que me ha hecho crecer, no sólo profesionalmente sino también en lo personal, por ese motivo **quiero hacer un reconocimiento a todas aquellas personas que me han apoyado y de las cuales he aprendido conceptos tan importantes como el compañerismo y el trabajo duro, así como también a disfrutar del camino y no únicamente del resultado.**

Me gustaría manifestar un gran agradecimiento a toda **mi familia** por su apoyo. Muy especialmente a **mi madre**, por acompañarme siempre en mis decisiones y por ayudarme a arriesgar y a intentar mejorar cada día. Desde que tengo memoria hemos formado un dúo inseparable, y ahora, a pesar de la distancia, lo seguimos siendo.

Uno de los grandes aciertos que ambas hemos tenido, ha sido elegir a la **Universidad de Montevideo** para realizar mis estudios de ingeniería. La formación que allí recibí, sin lugar a dudas, es una herramienta que me acompaña cada día y que me ha ayudado a seguir avanzando en estos últimos años. Al finalizar mi carrera, la Universidad de Montevideo me brindó su apoyo en la decisión de seguir estudiando

en la Universidad de Navarra, para poder especializarme en el área que siempre me ha interesado: la logística. Así fue como llegué al Departamento de Organización Industrial de Tecnun.

Allí encontré un grupo humano inmejorable. Quisiera agradecerle a **Ander Errasti** por ser además del director de esta tesis, un compañero de viaje del que he aprendido mucho y con quien espero poder seguir colaborando en un futuro. También me gustaría darle las gracias a **Javi Santos** y a **Sarri** por guiarme y aconsejarme tanto en lo académico como en lo personal. Agradezco a la **Universidad de Navarra** por darme la oportunidad de hacer esta tesis y muy particularmente a todas las personas que conocí en el **Departamento de Organización Industrial** por crear un ambiente de trabajo tan agradable. Asimismo, agradezco a las **Universidades, centros tecnológicos y empresas con las que he colaborado**, fruto de acuerdos y alianzas establecidas en el marco de la línea de investigación World-Class Warehousing, por sus aportes a mi trabajo.

Pero fue antes de llegar a pisar Tecnun, en el mismo aeropuerto, donde me esperaba la mejor de las sorpresas. **Jose**, quien hoy es mi marido, ha sido desde entonces mi compañero de equipo, ya que con sus consejos me brindó el apoyo necesario para afrontar tantos desafíos. Gracias a su cariño he logrado sentir a San Sebastián como mi casa, desde el primer momento.

Finalmente me gustaría agradecer de forma muy especial a **mis amigas** de la escuela, del liceo, de la universidad, del gimnasio, del doctorado y también a las amigas de mi madre. Todas ellas me han acompañado en todo momento y juntas hemos celebrado eventos muy especiales. Durante este proceso muchas han estado presentes desde cerca, mientras que otras lo han hecho desde la distancia. Gracias a cada una de ellas.

Claudia Chackelson

Resumen

Los almacenes representan un eslabón fundamental en la Cadena de Suministro, aportando importantes ventajas en la gestión eficiente de la misma. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos realizados por otros académicos para contribuir en la construcción de una metodología sistemática para el diseño de almacenes, en la práctica la solución de diseño final se selecciona en base a la intuición, al juicio y a la experiencia de cada diseñador. Hasta el momento, no se han encontrado evidencias en la bibliografía de la existencia de una metodología de diseño estructurada que logre guiar al diseñador, reduciendo el número de alternativas disponibles en base a las características del almacén y al rendimiento objetivo.

Por este motivo, el presente trabajo de investigación contribuye, tanto al ámbito científico como a la práctica empresarial, obteniendo los cuatro resultados detallados a continuación:

- R1. El desarrollo de un sistema experto denominado IRES que apoya el dimensionamiento del almacén y el diseño de las funciones logísticas de gestión de la demanda, planificación del stock, planificación del servicio y planificación del aprovisionamiento. Se ha llevado a cabo el desarrollo informático de la herramienta para conseguir la transferencia a las empresas de la contribución científica realizada.

- R2. La propuesta de una herramienta para la selección de configuraciones de diseño que reorganiza, en un Diagrama en forma de estrellas, los diferentes factores a considerar para los procesos de flujo de material (recepción, ubicación, almacenaje, preparación de pedidos y expedición).
- R3. La propuesta de una metodología de diseño de almacenes que, mediante cinco pasos (Definir, Medir, Analizar, Diseñar y Verificar), clasifica al almacén según el nivel de complejidad de sus procesos, reduce el número de alternativas a considerar en base a los diseños de almacenes de referencia recopilados (R4) y guía al diseñador en la selección de una configuración adecuada a la complejidad medida y al rendimiento objetivo.
- R4. La recopilación de diseños de almacenes de referencia, para guiar al diseñador a la hora de reducir el número de configuraciones adecuadas a la complejidad de los procesos de flujo de material y al rendimiento objetivo. Para la representación gráfica de dichos diseños se ha utilizado el Diagrama de estrellas (R2).

Se ha seleccionado un programa de investigación basando en metodologías y herramientas con enfoque práctico: el Estudio Delphi, la Investigación en Acción, el Diseño de Experimentos y la Simulación de Eventos Discretos. Para el desarrollo de dicho programa, se ha contado con la colaboración de otras Universidades, centros tecnológicos y empresas, fruto de acuerdos y alianzas establecidas en el marco de la línea de investigación World-Class Warehousing.

Consultando a expertos mediante un Estudio Delphi y llevando a cabo múltiples casos de Investigación en Acción, se han mejorado las herramientas desarrolladas (R1, R2 y R4) y se ha verificado la utilidad práctica de la metodología de diseño propuesta (R3). Adicionalmente, se ha testado el valor que aportan el Diseño de Experimentos y la Simulación de Eventos Discretos para asistir al diseñador en la selección de configuraciones entre un número reducido de alternativas.

Contenido

Capítulo 1. Introducción, Objetivos y Alcance	1
1.1. Introducción a los almacenes dentro de la Cadena de Suministro	2
1.1.1. Procesos de flujos de material	5
1.1.2. Funciones logísticas	6
1.2. Planteamiento del problema	7
1.3. Objetivos de la tesis	8
1.4. Alcance de la investigación	9
1.5. Estructura de la tesis	9
Capítulo 2. Revisión bibliográfica	11
2.1. El proceso de diseño de almacenes	12
2.2. Aumento de la complejidad y factores a considerar para un diseño eficaz	13
2.3. Rendimiento	14
2.4. Metodologías de diseño de almacenes	15
2.4.1. Metodología de diseño de almacenes de Rouwenhorst et al.	19
2.4.2. Metodología de diseño de almacenes de Goetschalckx et al.	23
2.4.3. Metodología de diseño de almacenes de Baker y Canessa	27
2.4.4. Metodología de diseño de almacenes de Gu et al.	30

2.5.	Conclusiones de la revisión bibliográfica _____	32
Capítulo 3. Metodología de investigación _____		35
3.1.	Programa de investigación _____	36
3.2.	Revisión bibliográfica _____	38
3.3.	Estudio Delphi _____	41
3.4.	Investigación en Acción (Action Research) _____	42
3.5.	Diseño de Experimentos (DoE) _____	45
3.6.	Simulación _____	45
Capítulo 4. Sistema Experto para la Gestión de Stocks: IRES _____		47
4.1.	Dimensionamiento del almacén _____	48
4.2.	Diseño de las funciones logísticas _____	49
4.2.1.	Clasificación de referencias _____	50
4.2.2.	Métodos de previsión _____	51
4.2.3.	Políticas de reaprovisionamiento _____	52
4.3.	Propuesta inicial del Sistema Experto _____	54
4.4.	Mejora y validación del sistema experto _____	57
4.4.1.	Caso 1: Distribuidor de bebidas _____	58
4.4.2.	Oportunidades de mejora identificadas a partir del primer caso ____	60
4.4.3.	Caso 2: distribuidor de electrodomésticos _____	63
4.4.4.	Caso 3: Fabricante de componentes electrónicos _____	69
4.5.	Desarrollo informático ULMA _____	73
4.6.	Conclusiones _____	77
Capítulo 5. Diseño de los principales procesos con flujo de material en almacenes _____		79
5.1.	Alternativas de diseño para los principales procesos con flujo de material desempeñados dentro del almacén _____	80
5.1.1.	Recepción _____	80
5.1.2.	Ubicación _____	85
5.1.3.	Almacenaje _____	88
5.1.4.	Preparación o Picking _____	91
5.1.5.	Expedición _____	98
5.1.6.	Procesos compartidos _____	99

5.2.	Reestructuración de las alternativas de diseño. Desarrollo de una nueva herramienta: el Diagrama de estrellas _____	100
5.3.	Conclusiones _____	105
Capítulo 6. Metodología de diseño de almacenes _____		107
6.1.	Diseño de los procesos de flujo de material en almacenes _____	108
6.2.	Metodología de diseño de almacenes propuesta _____	110
6.2.1.	Definir _____	111
6.2.2.	Medir _____	112
6.2.3.	Analizar _____	114
6.2.4.	Diseñar _____	116
6.2.5.	Verificar _____	116
6.3.	Conclusiones _____	116
Capítulo 7. Estudio Delphi _____		119
7.1.	Necesidad de realizar un Estudio Delphi _____	120
7.2.	Primera ronda de preguntas _____	122
7.3.	Aportaciones de los expertos _____	123
7.4.	Mejoras realizadas al Diagrama de estrellas _____	128
7.5.	Segunda ronda de preguntas _____	133
7.6.	Diagrama de estrellas mejorado y validado _____	133
7.7.	Modelos de referencia recolectados _____	138
7.8.	Conclusiones _____	138
Capítulo 8. Casos de investigación en acción _____		139
8.1.	Selección de casos _____	140
8.2.	Prueba piloto _____	143
8.3.	Casos de Investigación en Acción _____	145
8.3.1.	Caso 1: Distribuidor de electrodomésticos, mini-doméstico _____	146
8.3.2.	Caso 2: Distribuidor de electrodomésticos, línea blanca _____	149
8.3.3.	Caso 3: Fabricante de ascensores _____	151
8.3.4.	Caso 4: Distribución de productos de Parafarmacia _____	153
8.3.5.	Caso 5: Repuestos de maquinaria _____	155
8.4.	Conclusiones _____	157
Capítulo 9. Conclusiones, Limitaciones y Futuras líneas _____		159
9.1.	Conclusiones _____	160

9.1.1. Diseño de la Funciones logísticas _____	161
9.1.2. Diseño de los Procesos de Flujo de Material _____	162
9.2. Limitaciones _____	163
9.3. Futuras investigaciones _____	164
Referencias _____	167
Anexo 1: Cuestionarios del Delphi _____	177
Anexo 2: Diseños de almacenes de referencia _____	189
A1. Caso Sector Gran Consumo, almacén de producto terminado _____	190
A2. Caso Sector Repuestos de maquinaria, almacén de componentes _____	192
A3. Caso Sector Elevación - Movilidad, almacén de producto terminado _____	194
A4. Caso Sector Bienes industriales, almacén de producto terminado _____	196
A5. Caso Sector Bienes industriales, almacén de producto terminado _____	198
A6. Caso Sector Gran Consumo, almacén de producto terminado _____	200
A7. Caso Sector electrodomésticos, almacén de mini-doméstico _____	202
A8. Caso Sector electrodomésticos, almacén de línea blanca _____	204
A9. Caso Sector elevación, almacén de ascensores _____	206
A10. Caso Sector Gran Consumo, almacén de Parafarmacia _____	208
A11. Caso Sector Repuestos de maquinaria _____	210
Publicaciones _____	213
Ponencias en conferencias internacionales _____	213
Publicaciones en revistas científicas o libros _____	216

Listado de figuras

Figura 1.1 Diagrama de procesos con flujo de materiales (Tompkins et al. 2010), adaptado.....	5
Figura 1.2 Diagrama de Funciones logísticas (Errasti. 2011), adaptado.....	6
Figura 2.1 Medidas de desempeño empleadas en la gestión de operaciones	14
Figura 2.2 Decisiones a nivel estratégico, táctico y operativo	22
Figura 3.2 Distribución de tipos de fuentes empleadas.....	39
Figura 4.1 Funciones logísticas (Errasti. 2011), modificado.....	49
Figura 4.2 Métodos de previsión de la demanda, (Errasti. 2009), modificado	52
Figura 4.3 Sistema de revisión continua	52
Figura 4.4 Sistema de revisión periódica	53
Figura 4.5 Esquema del Sistema Experto IRES.....	54
Figura 4.6 Gráficos de Demanda, Stock y Aprovisionamiento.....	58
Figura 4.7 Datos históricos 2008 - 2009.....	59
Figura 4.8 Intermitencia de la demanda	62
Figura 4.9 Tendencia de la demanda	62
Figura 4.10 Ejemplo de estacionalidad de la demanda.....	62
Figura 4.11 Ejemplo de irregularidad de la demanda	62

Figura 4.12 Datos históricos 2009 y principios 2010	65
Figura 4.13 Comportamiento de una referencia BZ si se utiliza un SRC basado en consumos medios.....	66
Figura 4.14 Comportamiento de una referencia BZ si se utiliza un SRC basado en consumos pico.....	66
Figura 4.16 Periodicidad de ajuste de cada módulo	73
Figura 4.17 Diagrama de flujo del SRC.....	74
Figura 4.18 Diagrama de flujo del SRP.....	75
Figura 4.19 Diagrama de flujo del SRS.....	75
Figura 4.20 Diagrama de flujo del SRC híbrido	76
Figura 4.21 Pantallas del IRES en versión comercializable.....	76
Figura 5.1 Componentes del sistema RFID	84
Figura 5.2 Asignación de operarios a zonas.....	87
Figura 5.3 Árbol de zonificación (Frazelle. 2002b), modificado.....	89
Figura 5.4 Clasificación de sistemas según automatización (De Koster et al. 2007), adaptado	92
Figura 5.5 Pick to Light y Pick to Voice.....	97
Figura 5.6 Ejemplo de mosaico de carga.....	99
Figura 5.7 Ciclos simples y ciclos dobles.....	100
Figura 5.8 Diagrama de estrellas	101
Figura 5.9 Estrella de almacenaje.....	102
Figura 5.10 Estrellas de recepción y expedición	103
Figura 5.11 Estrellas de ubicación y preparación	104
Figura 6.1 Metodología de diseño propuesta.....	111
Figura 6.2 Mapeo del sistema AS IS	114
Figura 7.1 Alternativas de diseño: los cinco procesos de flujo de material	134
Figura 7.2 Alternativas de diseño: almacenaje	135
Figura 7.3 Alternativas de diseño: recepción y expedición.....	136
Figura 7.4 Alternativas de diseño: ubicación y preparación.....	137

Figura 8.1 Foto de la maqueta	143
Figura 8.2 Pantalla ejemplo del modelo de simulación, vistas 3D y 2D	143
Figura 8.3 Datos de pedidos en tres escenarios	146
Figura 8.4 A través del pasillo (izquierda) and A lo largo del pasillo (derecha)	147
Figura 8.5 Modelo de simulación, vista 3D para el primer caso.....	148
Figura 8.6 Esquema de eliminación de viajes en vacío.....	149
Figura 8.7 Layout del segundo caso	150
Figura 8.8 Modelo de simulación, vista 3D para el tercer caso.....	151
Figura 8.10 Modelo de simulación del cuarto caso.....	154
Figura 8.11 Cross-docking con manipulación de productos	156
Figura Anexo 1.1 Diagrama de estrellas general: los cinco procesos de flujo de material.....	178
Figura Anexo 1.2 Diagrama de estrellas por procesos: almacenaje.....	179
Figura Anexo 1.3 Diagrama de estrellas por procesos: recepción y expedición ...	180
Figura Anexo 1.4 Diagrama de estrellas por procesos: ubicación y preparación .	181

Listado de tablas

Tabla 2.1 Metodologías de diseño de almacenes	17
Tabla 2.2 Metodologías de diseño de almacenes (continuación)	18
Tabla 2.3 Dimensiones del almacén	20
Tabla 2.4 Aspectos del algoritmo para diseño de almacenes (Goetschalckx et al. 2001)	25
Tabla 2.5 Modelo continuo.....	26
Tabla 2.6 Pasos y herramientas para el diseño de almacenes (Baker and Canessa. 2009)	28
Tabla 3.1 Revistas e índice de impacto.....	40
Tabla 4.1 Cambios propuestos en el nivel de SS para conseguir el nivel de servicio objetivo.....	60
Tabla 4.2 Sub-clasificación de referencias Z	61
Tabla 4.3 Clasificación XYZ en función de los parámetros propuestos.....	63
Tabla 4.4 Resumen de situación actual y mejoras planteadas	64
Tabla 4.5 Resultados más significativos de la comparación de estrategias de aprovisionamiento.....	67

Tabla 4.6 Estrategias de aprovisionamiento y métodos de previsión de demanda (ABC/XYZ).....	68
Tabla 4.7 Estrategias y beneficios para cada categoría de producto terminado....	71
Tabla 4.8 Estrategias y beneficios para cada categoría de materias primas.....	72
Tabla 5.1 Variantes de cross-docking	81
Tabla 5.2 Estrategias de asignación de ubicaciones.....	90
Tabla 5.3 Comparativa de sistemas de almacenaje Operario a producto	92
Tabla 5.4 Comparativa de sistemas de almacenaje Producto a operario.....	93
Tabla 5.5 Métodos de ruteo.....	94
Tabla 6.1 Equivalencia de pasos entre la nueva metodología de diseño y la bibliografía	110
Tabla 6.2 Tabla para medir nivel de complejidad	113
Tabla 6.3 Ejemplo para un nivel de complejidad X.....	115
Tabla 7.1 Ranking de expertos contactados	121
Tabla 7.2 Tabla de equivalencia idoneidad vs número de experto.....	122
Tabla 7.3 Aportaciones y comentarios: Recepción	124
Tabla 7.4 Aportaciones y comentarios: Ubicación	125
Tabla 7.5 Aportaciones y comentarios: Almacenaje	126
Tabla 7.6 Aportaciones y comentarios: Preparación.....	127
Tabla 7.7 Aportaciones y comentarios: Expedición.....	128
Tabla 8.1 Mejores prácticas implementadas según caso de IA.....	142
Tabla 8.2 Comparación de alternativas.....	148
Tabla 8.3 DoE realizado en el cuarto caso	154
Tabla Anexo 2.1 Nivel de complejidad A1.....	190
Tabla Anexo 2.2 Productividad A1.....	190
Tabla Anexo 2.3 Calidad A1	190
Tabla Anexo 2.4 Nivel de complejidad A2.....	192
Tabla Anexo 2.5 Productividad A2.....	192
Tabla Anexo 2.6 Calidad A2	192

Tabla Anexo 2.7 Nivel de complejidad A3	194
Tabla Anexo 2.8 Productividad A3	194
Tabla Anexo 2.9 Calidad A3.....	194
Tabla Anexo 2.10 Nivel de complejidad A4.....	196
Tabla Anexo 2.11 Productividad A4.....	196
Tabla Anexo 2.12 Calidad A4	196
Tabla Anexo 2.13 Nivel de complejidad A5.....	198
Tabla Anexo 2.14 Productividad A5.....	198
Tabla Anexo 2.15 Calidad A5	198
Tabla Anexo 2.16 Nivel de complejidad A6.....	200
Tabla Anexo 2.17 Productividad A6.....	200
Tabla Anexo 2.18 Calidad A6	200
Tabla Anexo 2.19 Nivel de complejidad A7	202
Tabla Anexo 2.20 Productividad A7	202
Tabla Anexo 2.21 Calidad A7	202
Tabla Anexo 2.22 Nivel de complejidad A8.....	204
Tabla Anexo 2.23 Productividad A8.....	204
Tabla Anexo 2.24 Calidad A8	204
Tabla Anexo 2.25 Nivel de complejidad A9.....	206
Tabla Anexo 2.26 Productividad A9.....	206
Tabla Anexo 2.27 Calidad A9	206
Tabla Anexo 2.28 Nivel de complejidad A10.....	208
Tabla Anexo 2.29 Productividad A10.....	208
Tabla Anexo 2.30 Calidad A10.....	208
Tabla Anexo 2.31 Nivel de complejidad A11.....	210
Tabla Anexo 2.32 Productividad A11.....	210
Tabla Anexo 2.33 Calidad A11.....	210

Capítulo 1.

Introducción, Objetivos y Alcance

En este capítulo se presenta el problema objeto de estudio de esta tesis doctoral. Para comenzar, se da una visión general de la función de los almacenes, sus ventajas y el valor añadido que generan en las distintas ubicaciones entre proveedores y clientes de una Cadena de Suministro genérica. A continuación se presentan las dificultades identificadas al afrontar el proceso de diseño de un almacén, así como las preguntas de investigación y los objetivos planteados para dar respuesta a dichas preguntas.

1.1. Introducción a los almacenes dentro de la Cadena de Suministro

La Cadena de Suministro representa el conjunto de eslabones o sub-cadenas necesarias para la entrega satisfactoria de materiales (en calidad, cantidad, lugar y momento adecuado) a un cliente y/o mercado. Incluye las cadenas de producción aguas arriba y cadenas de distribución aguas abajo (Christopher. 2005). La gestión de una cadena supone la coordinación y la visión sistémica del flujo de aprovisionamiento, la producción y el flujo de distribución.

Las exigencias de los clientes están aumentando de forma constante en los últimos años: (a) reducción de los tiempos de respuesta, (b) aumento de gama de productos, (c) aumento de la personalización o customización y (d) aumento de la complejidad de los pedidos debido a una reducción en la cantidad y a un aumento en el número de líneas.

Esta nueva coyuntura está llevando a las empresas a generar propuestas de valor que requieren nuevas configuraciones de Cadenas de Suministro multiescalón, o con múltiples nodos, donde los almacenes resultan vitales. Según algunas cifras europeas, el coste del almacén puede rondar el 25% del total de los costes logísticos (ELA/ AT Kearny, 2004).

El término *almacén* se utiliza cuando la función principal es la de almacenar o depositar materiales. Sin embargo, cuando la distribución de dichos materiales es su función principal, se emplea el término *centro de distribución*. En este último caso, es probable que la función de almacenamiento o almacenaje tenga menor importancia, y los productos incluso se reacondicionen y expidan sin necesidad de almacenar (De Koster et al. 2007). A lo largo de esta memoria, se empleará el término almacén para hacer referencia tanto a almacenes como a centros de distribución.

El almacenaje de productos puede ser visto como un sobre coste innecesario, por lo que filosofías de gestión como el *Just in Time* proponen su eliminación (Stock and Lambert. 2001). Sin embargo, debido a los requerimientos de los clientes en plazo y gama, y a los incesantes cambios de tendencias en los mercados, los almacenes pueden aportar importantes ventajas en la gestión eficiente de la Cadena de Suministro (Lambert et al. 1998), ya que éstos:

- Posibilitan economías de escala en el transporte de mercancías (grupaje de transporte o carga de contenedor entero).

- Posibilitan economías de escala en la producción (producción contra almacén según lotes económicos de producción).
- Permiten la compra especulativa (compra de materias primas en periodos de precios bajos).
- Soportan las políticas de nivel de servicio de las empresas.
- Amortiguan las condiciones cambiantes del mercado y su incertidumbre.
- Suministran un mix de productos a partir de una amplia gama de referencias.
- Proporcionan un punto de almacenamiento temporal para una posterior reexpedición.

En los almacenes también se realizan actividades que aportan mayor valor al cliente (van Hoek. 2001). Por ejemplo:

- Preparación de kits o montaje de materiales para órdenes de fabricación.
- Etiquetado de artículos y pedidos.
- Acondicionamiento de pedidos según embalaje personalizado.
- Ensamblaje de artículos y pedidos.
- Paletización de cajas.

Adicionalmente, los almacenes deben gestionar la recuperación de productos, materiales o embalajes, con el fin de redistribuirlos a otros clientes, reutilizarlos o reciclarlos (De Koster et al. 2002).

Errasti define al almacén con una aproximación holística denominada *Order Factory* o *Fábrica de Pedidos* (Errasti. 2011). Según esta definición el almacén es una fábrica de pedidos en la que, una vez identificados los requerimientos de los distintos tipos de clientes, tiene que “fabricar” pedidos a través de operaciones y movimientos que permitan generar valor (eliminando despilfarros), ser capaz y flexible (realizando procesos estandarizados y adaptado a la demanda) y que garantice la disponibilidad de medios y personas competentes para su ejecución.

Si bien la necesidad de un almacén puede ser cuestionable, afrontar el reto de diseño y gestión de estas fábricas de pedidos para la incorporación de soluciones idóneas requiere de un enfoque metodológico que permita mejorar el servicio y reducir los costes, rentabilizando el capital invertido. En definitiva, toma relevancia *la Logística de Almacenaje*, disciplina que permite el diseño de almacenes competitivos. Dicha disciplina requiere un análisis sistémico y exhaustivo de los requerimientos del

cliente que posibilite plantear soluciones avanzadas de referencia mundial o *World-Class Warehousing*.

En este contexto, la localización, función y concepción del almacén han evolucionado para soportar la mejora del desempeño de las Cadenas de Suministro, incorporando nuevos servicios, nuevos sistemas de gestión de stocks, nuevas formas organizativas de identificación de producto y de suministro y nuevas tecnologías de mantenimiento (movimiento o manipulación de productos) o de preparación de pedidos.

Un almacén puede localizarse estratégicamente en distintos puntos de la Cadena de Suministro:

- *Almacén de materias primas y componentes*: Almacena materias primas y componentes en un punto para servir al proceso de fabricación o montaje.
- *Almacén de producto en curso*: Almacena productos o conjuntos semi-elaborados a lo largo del proceso de producción o montaje.
- *Almacén de producto terminado*: Almacena producto para equilibrar la variación entre la demanda y la producción.
- *Almacén de distribución y centro de distribución*: Responde a distintas tipologías de clientes y pedidos a partir de producto en stock o que se aprovisiona contra pedido.
- *Almacén regional*: Distribuye en una región para permitir una rápida respuesta a la demanda del cliente.
- *Almacén de recambios*: Distribuye recambios para bienes de equipo, como camiones, motocicletas, ordenadores, electrodomésticos, etc.

La localización del almacén determina, en gran medida, su función:

- *Centro de consolidación*: Los productos de distintos orígenes se consolidan para una o varias compañías, combinando un envío a un cliente común.
- *Centro de reexpedición*: Los productos suministrados desde otro punto de la cadena de suministro se reexpiden sin ser ubicados y ni almacenados.
- *Centro de clasificación*: Los productos se clasifican y reexpiden para una región.
- *Centro de ensamblaje*: Los subconjuntos para montar kits se preparan (embalaje y etiquetado) y suministran al punto de producción o expedición.
- *Centro de recogida*: El producto terminado (o embalaje retornable) se recoge para su posterior tratamiento, reutilización o eliminación.

Una vez definidas la localización y la función, lo que realmente interesa es que el almacén opere al menor coste posible y con el mayor rendimiento. Por este motivo, el proceso de diseño resulta de vital importancia, ya que es el momento en el cual se toman las decisiones que determinan el éxito o fracaso del almacén. Dichas decisiones se centran principalmente en el diseño de los procesos de flujos de material y de las funciones logísticas (Errasti. 2011), ambos definidos a continuación.

1.1.1. Procesos de flujos de material

Se conoce como flujo de materiales al movimiento o manipulación en el que actúa al menos uno de los tres elementos básicos de las operaciones logísticas (material, mano de obra o máquina). La mayoría de los flujos de materiales desde cliente a proveedor siguen una secuencia de procesos, denominados procesos de flujo de material: recepción, ubicación, almacenaje, preparación y expedición (Rouwenhorst et al. 2000, Tompkins et al. 2010) (ver Figura 1.1). Otros flujos, excluyen alguno de estos pasos, o incorporan otras tareas más específicas que agregan valor: kitting, etiquetado, embalaje personalizado, ensamblaje de productos u órdenes, y/o paletización (van Hoek. 2001). Alguna vez, además, puede ser necesario incluir actividades intermedias de acondicionamiento de productos en función de la heterogeneidad entre las SKUs (Unidades de Almacenaje o *Stock Keeping Units*) recepcionadas, almacenadas y expedidas (Frazelle. 2002b, Errasti. 2011). Todas las operaciones dedicadas a la manipulación son improductivas y, por consiguiente, reducir el tiempo y la distancia de los movimientos de material impacta positivamente en el coste logístico.

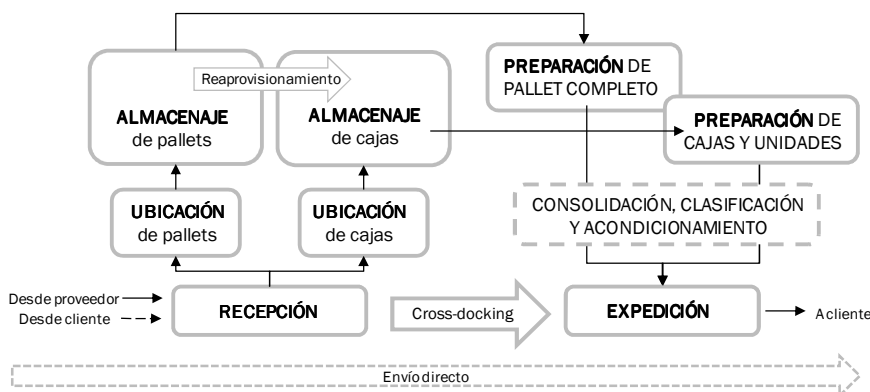


Figura 1.1 Diagrama de procesos con flujo de materiales (Tompkins et al. 2010), adaptado

1.1.2. Funciones logísticas

Antes de diseñar la operativa de los procesos de flujo de material, es necesario analizar, definir y diseñar las funciones logísticas de gestión de la demanda, planificación del servicio, planificación del stock y planificación del aprovisionamiento (ver Figura 1.2). Estas funciones cubren la responsabilidad de garantizar el nivel de servicio a los clientes según la política establecida, de manera que la empresa pueda desarrollar adecuadamente sus operaciones, minimizando de manera conjunta los costes de capital invertido (stock), los costes productivos, logísticos y de gestión, con los medios y equipos disponibles.

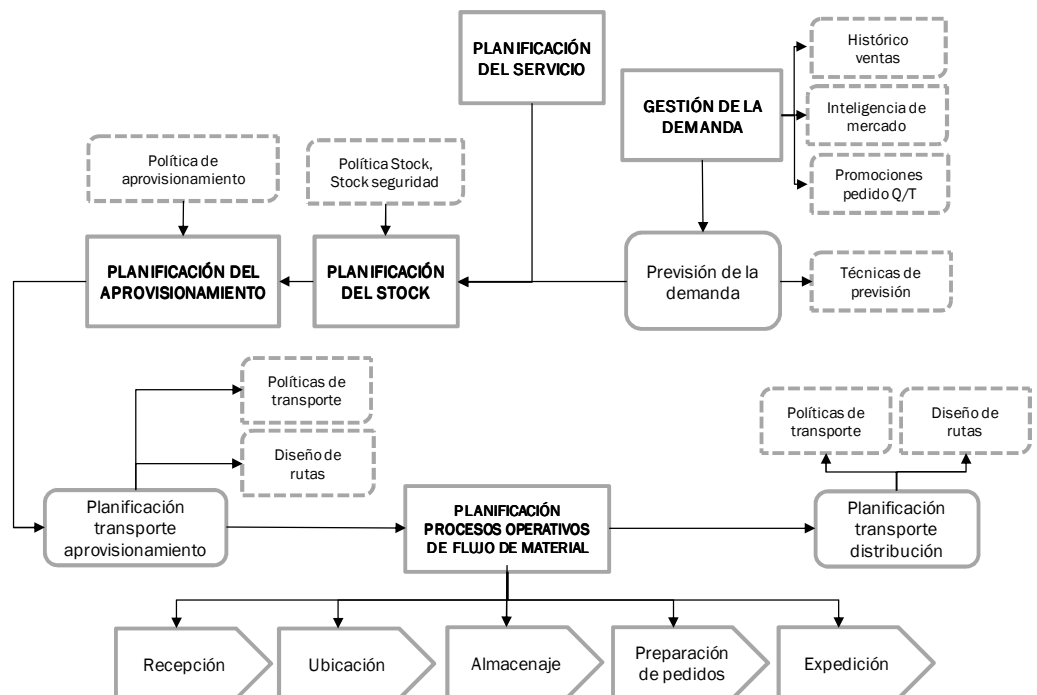


Figura 1.2 Diagrama de Funciones logísticas (Errasti. 2011), adaptado

En la bibliografía, el diseño de las funciones logísticas suele reducirse a la gestión de stocks, y la relación con los procesos de flujo de material se analiza al dimensionar el almacén (ver capítulo 2).

Mediante una buena gestión del inventario, no solamente se reducen los costes de stock (contemplando los patrones de la demanda y racionalizando los costes destinados a material inmovilizado), sino que también se reducen otros costes dentro del almacén. Reducir el inventario mejora la eficiencia, ya que en una superficie más pequeña se reducen los tiempos y los desplazamientos (van Den Berg. 1999). Por otra parte, la minimización del flujo total representa uno de los aspectos fundamentales para mejorar el rendimiento, durante el diseño de los procesos operativos de flujo de materiales del almacén.

1.2. Planteamiento del problema

El diseño de almacenes (tanto de sus funciones logísticas como de sus procesos de flujo de material) es un problema complejo, no sólo por las altas exigencias de los clientes en términos de plazo y gama, sino por el número de alternativas posibles. Estas alternativas son el resultado de los factores a considerar, existiendo una fuerte interacción entre los mismos. Como consecuencia es muy difícil, o tal vez imposible, identificar la solución de diseño “óptima” de forma analítica (Baker and Canessa. 2009). Analizar simultáneamente todas las configuraciones posibles, fruto de la combinación de factores para conseguir una solución óptima de diseño en un único modelo resulta insoluble y, por este motivo, los investigadores se han limitado a analizar unos ámbitos de decisión y factores concretos.

Dada la importancia del proceso de diseño, muchos académicos han dedicado sus esfuerzos a identificar alternativas parciales, y a analizar de forma aislada las interacciones entre algunas de ellas (De Koster et al. 2007). Sin embargo, una metodología de diseño sistemática y general aún parece ausente en la bibliografía (Baker and Canessa. 2009, Gu et al. 2010) y las conclusiones de varios trabajos científicos a lo largo de los años han sido las mismas:

- No existe un procedimiento para diseñar sistemáticamente un almacén buscando alcanzar los requerimientos operacionales usando la tecnología más adecuada (Rowley. 2000)
- Aún parece ausente una base teórica que soporte una metodología de diseño de almacenes (Rouwenhorst et al. 2000).
- Parece no existir una metodología de fácil aplicación para el diseño general del almacén (Goetschalckx et al. 2001).

Con el paso de los años, muchos autores han propuesto una serie de pasos a seguir a la hora de llevar a cabo un diseño o rediseño de un almacén (Rouwenhorst et al. 2000, Baker and Canessa. 2009, Gu et al. 2010). No obstante, el proceso que finaliza con la identificación de una solución específica sigue siendo confuso (Dallari et al. 2009). Hasta el momento, no se ha llegado a un consenso en relación a la naturaleza de las técnicas y métodos necesarios para llevar adelante cada uno de los pasos de diseño propuestos. En la práctica, este hecho implica que la solución de diseño final se seleccione en base a la intuición, al juicio, y principalmente a la experiencia de cada diseñador (Gu et al. 2010).

En consecuencia, se puede decir que es necesario desarrollar nuevas aportaciones teóricas que se encuentren más cercanas a la práctica.

1.3. Objetivos de la tesis

Una vez planteado el problema, surgen las preguntas de investigación que han dado lugar a esta tesis doctoral:

- ¿Podría describirse de forma específica una metodología de diseño para almacenes?
- ¿Podría desarrollarse una nueva herramienta que facilite la selección de un número reducido de configuraciones de almacén entre las múltiples soluciones posibles fruto de la combinación de factores?
- ¿Qué técnicas y métodos podrían utilizarse para seleccionar un diseño específico entre un número reducido de configuraciones?
- ¿Cómo se podría enriquecer la experiencia del diseñador para conseguir que éste seleccione una solución de diseño que se ajuste a las características del almacén alcanzando un rendimiento objetivo?

Para responder estas preguntas, se han planteado **cinco objetivos**:

- 01.** Desarrollar una herramienta que asista en el diseño de las funciones logísticas.
- 02.** Desarrollar una herramienta que asista en el diseño de los procesos de flujo de material para seleccionar un número reducido de alternativas.

- 03.** Proponer una metodología de diseño de almacenes que ayude al diseñador a identificar alternativas adecuadas a la complejidad del almacén y al rendimiento deseado.
- 04.** Recopilar diseños de almacenes de referencia para guiar al diseñador en la selección de alternativas.
- 05.** Testear la utilidad de técnicas y métodos disponibles para asistir al diseñador durante la etapa de diseño en la selección entre un número reducido de configuraciones.

1.4. Alcance de la investigación

Esta tesis doctoral propone una metodología de diseño de almacenes con un enfoque práctico que contempla el diseño de los procesos de flujo de material interno y el diseño de las funciones logísticas. La investigación se ha centrado en los temas relacionados con los procesos que ocurren intra-almacén, por lo que la justificación económica, la localización y el rol del almacén, o la logística externa no han sido analizados y son cuestiones que deberán ser respondidas antes de llevar a cabo el proceso de diseño de almacenes.

1.5. Estructura de la tesis

La memoria se divide en nueve capítulos, cuyo contenido se sintetiza a continuación:

- El capítulo 1 incluye una introducción al problema identificado, plantea los objetivos de la tesis y el alcance de la investigación.
- El capítulo 2 expone una revisión bibliográfica general, explicando conceptos relevantes como cuáles son las variables de desempeño y qué elementos aumentan la complejidad de un almacén, así como también las metodologías de diseño de almacenes existentes.
- El capítulo 3 detalla la metodología de investigación seleccionada para alcanzar los objetivos propuestos. Este capítulo también incluye un esquema del programa de investigación y de la relación de capítulos de esta memoria.
- El capítulo 4 detalla el desarrollo de una herramienta (IRES) para asistir el diseño de las funciones logísticas. Esta herramienta ha sido mejorada y

validada mediante casos en empresas, para ser luego programada en un lenguaje compatible con un sistema de gestión de almacenes comercial. El IRES es el primer resultado (R1) de esta tesis, contribuyendo a completar el objetivo O1.

- El capítulo 5 describe las alternativas de diseño para los procesos de flujo de material basado en los factores de diseño identificados por los académicos hasta la fecha. Acaba con la propuesta de una herramienta denominada *Diagrama de estrellas*, que recopila de forma novedosa la configuración de alternativas de diseño como la combinación de diferentes factores. Esta herramienta es el segundo resultado (R2) y contribuye al objetivo O2.
- El capítulo 6 propone una nueva metodología de diseño de almacenes que pretende, partiendo de una base teórica, asistir en la práctica al diseñador de los procesos operativos de flujo de material. De esta forma se obtuvo el tercer resultado (R3), contribuyendo con el cumplimiento del objetivo O3.
- El capítulo 7 incluye la validación del *Diagrama de estrellas* realizada por diez expertos en diseño de almacenes. Además, incorpora diseños de almacenes de referencia que sirven de guía en el paso de análisis de la metodología de diseño propuesta. Los mismos se encuentran detallados en el Anexo 2 y son parte del cuarto resultado (R4), contribuyendo al objetivo O4.
- El capítulo 8 detalla cinco casos de investigación en acción realizados para implementar las mejores prácticas sugeridas en la bibliografía y recoger ejemplos diseños de almacenes útiles para la metodología de diseño propuesta. Dichos diseños se encuentran detallados en el Anexo 2 y completan el cuarto resultado (R4), finalizando a su vez el objetivo O4. Adicionalmente, los casos han servido para comprobar la utilidad de dos de las herramientas disponibles (DoE y DES) para la selección entre un número reducido de configuraciones, contribuyendo al objetivo O5.
- El capítulo 9 presenta las conclusiones de este trabajo de investigación, describiendo las principales ventajas de la metodología de diseño propuesta y de las herramientas desarrolladas. Además detalla las limitaciones y futuras investigaciones que puede desprenderse a partir del trabajo realizado.

Capítulo 2.

Revisión bibliográfica

La revisión bibliográfica recoge los esfuerzos realizados en el ámbito científico para lograr una metodología general de diseño de almacenes y los puntos fuertes y débiles de los pasos sugeridos en la literatura. Para ello se han analizado en profundidad las publicaciones científicas, prestando especial atención a los cuatro trabajos de investigación de mayor relevancia en el ámbito del diseño de almacenes.

En este capítulo, se enumeran las principales actividades identificadas en estos trabajos para afrontar el diseño de un almacén. Además, se describen las variables, y la magnitud de las mismas, que establecen un nivel distinto de complejidad a tener en cuenta en el proceso de diseño. A su vez, se presenta cómo se puede medir el rendimiento del almacén mediante variables de desempeño para un diseño dado.

De los aspectos analizados se desprende el gap que da origen a esta tesis doctoral y se delimita el alcance y la estructura de la misma.

2.1. El proceso de diseño de almacenes

Los principales problemas afrontados a la hora de diseñar un almacén son: la selección de medios, equipos y sistemas en base a requisitos de rendimiento. Luego le siguen tareas relacionadas con el dimensionamiento de los recursos y el diseño organizativo; y finalmente se da respuesta a los problemas que se encuentran a la hora de asignar tareas, recursos o equipos (Rouwenhorst et al. 2000).

En general, los trabajos publicados para dar soluciones a las mencionadas actividades son de carácter analítico, y normalmente se enfocan en problemas bien definidos y limitados con las siguientes características:

- El rendimiento se puede plantear como una función objetivo que hay que maximizar.
- El conjunto de alternativas es limitado y conocido.
- La incertidumbre puede ser estimada mediante una determinada función de probabilidad, por lo que sus efectos pueden ser cuantificados.
- Las interacciones pueden ser fácilmente modeladas.

Sin embargo, los diseños reales de almacenes, normalmente no están bien definidos (Rouwenhorst et al. 2000) debido a que:

- La función que representa el rendimiento es compleja, ya que debe contemplar diversos objetivos, muchos de ellos cualitativos (como la flexibilidad).
- El número de alternativas es muy grande, debido a las múltiples combinaciones posibles entre sistemas, medios, equipos, formas organizativas, etc.
- La incertidumbre proveniente del comportamiento humano y del fallo de los equipos es difícil de cuantificar.
- El diseño de subsistemas no debería realizarse de forma aislada, debido a la interacción con otros subsistemas.

2.2. Aumento de la complejidad y factores a considerar para un diseño eficaz

En la última década los almacenes deben preparar **más** pedidos (más pequeños), manejar y almacenar **más** referencias (aumento de gama), servir productos **más** personalizados, ofrecer servicios con **más** valor añadido y recepcionar y expedir **más** pedidos internacionales; todo esto con **menos** tiempo de entrega y **menos** margen de error (Frazelle. 2002a). Este aumento de la complejidad hace que se deban adoptar soluciones más flexibles y robustas.

La complejidad de los procesos de flujo de material afecta a la planificación y al control de un almacén (Faber et al. 2002). Faber afirma que:

- El número de líneas por orden y el número de SKUs son los dos factores con mayor impacto en la complejidad del almacén.
- Si la complejidad del almacén es tenida en cuenta desde el proceso de diseño, dicho almacén será más competitivo.

Por este motivo, todo diseño de almacén debería comenzar por el análisis de los factores que aumentan la complejidad de los procesos operativos.

La complejidad del almacén se calcula mediante el Perfil de actividades del almacén o *Warehouse activity profiling* (Frazelle. 2002b). El principal objetivo de esta medición es facilitar la selección de las alternativas de diseño que se adapten a las exigencias de cada almacén en particular. En su libro *World-Class Warehousing and material handling*, Frazelle enumera una larga lista de puntos a medir para conocer la complejidad de los procesos con flujo de material. Sin embargo advierte que al profundizar en todos ellos se puede caer en “parálisis por análisis”, dilatando las decisiones importantes del diseño.

El Warehouse activity profiling engloba:

- Perfil de órdenes del cliente (líneas por orden y cantidad por orden).
- Perfil de referencias (ABC¹, características del producto).
- Perfil del inventario (SKUs, estacionalidad).
- Perfil de actividades (necesidad de acondicionamiento, etiquetado, etc.)

¹ Rotaciones de los productos

2.3. Rendimiento

Para saber si el diseño de almacén es eficaz, se deben medir una serie de factores de rendimiento. El desempeño del almacén puede ser medido utilizando los mismos indicadores de desempeño empleados en otros procesos operativos de la gestión de operaciones. Los factores que se priorizan habitualmente son: Coste, Productividad y Calidad (Frazelle. 2002a), pero a su vez no se deben olvidar la seguridad, la innovación y la integración del equipo humano (ver Figura 2.1).

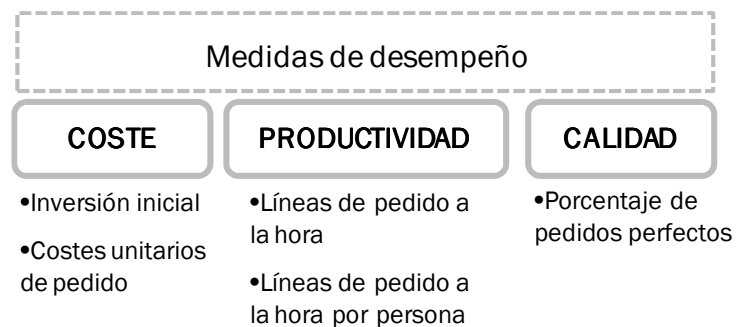


Figura 2.1 Medidas de desempeño empleadas en la gestión de operaciones

Los costes pueden ser calculados tanto en términos de inversión inicial, como de coste unitario o de “fabricación” de un pedido; la productividad normalmente es medida en líneas de pedido por hora o en líneas de pedido por hora y persona (De Koster and Balk. 2008); y la calidad en un almacén se estima en base al porcentaje de pedidos u órdenes perfectas: sin errores (sustitución o cantidad), sin faltantes y sin retrasos (Frazelle. 2002b).

Para evaluar una solución particular de diseño, puede que también deban tenerse en cuenta la flexibilidad y la capacidad de almacenaje, aunque estas dos medidas de rendimiento, junto con el coste, suelen ser utilizadas más como restricciones que como objetivos (Rouwenhorst et al. 2000).

Según Gu et al., las medidas de desempeño proporcionan información sobre el rendimiento de una solución de diseño o de las operativas seleccionadas, pero lo más importante es que indican cómo mejorar (Gu et al. 2010).

El rendimiento de un almacén puede mejorarse si se definen las operativas y los métodos correctos (Aminoff et al. 2002). Estos métodos pueden incluir: simplificar el flujo eliminando procesos, o bien eliminar o reducir los movimientos de material, mano de obra y máquinas innecesarios (Tompkins et al. 2010). Para esto Tompkins sugiere las siguientes mejores prácticas de diseño físico y operativo, las cuales serán explicadas en detalle en el capítulo 5:

- Definir diferentes zonas (Zonificar) en el almacén.
- Definir la estrategia de almacenaje adecuada.
- Realizar preparaciones de pedidos agrupadas.
- Mecanizar o automatizar la manutención.
- Eliminar viajes en vacío.
- Hacer flujo tenso o cross-docking.

Por otra parte, el uso de ejemplos de diseños de almacenes con un nivel de desempeño excelente, o modelos de referencia, puede servir para mejorar el rendimiento, permitiendo abordar los problemas de diseño desde una perspectiva general y estudiando la adecuación de un sistema para una combinación particular de flujos (Rouwenhorst et al. 2000). Estos modelos de referencia puede ser obtenidos de un benchmarking funcional, dónde las mejores prácticas de diseño físico y operativo son identificadas (Gu et al. 2010).

De Koster y Balk hacen un benchmarking de operativas entre almacenes europeos midiendo principalmente la productividad, la calidad y la flexibilidad (De Koster and Balk. 2008). Para hacerlo también clasifican el nivel de complejidad de los almacenes analizados. Señalan la dificultad de comparar ciertos almacenes debido a la variedad de características tales como el tamaño (superficie), el grado de automatización o la gama de referencias almacenadas.

2.4. Metodologías de diseño de almacenes

Como ya se ha presentado en el capítulo 1, las nuevas tendencias hacia el aumento de gama y la disminución del tiempo de respuesta, están forzando a establecer operaciones logísticas cada vez más eficientes. Estas operaciones son claves para garantizar la competitividad y supervivencia, no sólo de cada almacén de

forma individual, sino también de su red de distribución. Esto se debe a que la eficacia y eficiencia de esta última se determinan fundamentalmente por la eficacia y eficiencia de cada nodo (Rouwenhorst et al. 2000).

En este contexto, el diseño de almacenes es un problema complejo, no sólo por las altas exigencias de los clientes en términos de plazo y gama, sino por el número de alternativas posibles, que son el resultado de la combinación de los factores de diseño a considerar, y por la fuerte interacción existente entre las mismas. Analizar simultáneamente todas las decisiones referentes a los factores de diseño en un único modelo resulta difícil de resolver y, por este motivo, los investigadores se han limitado a analizar unos ámbitos de decisión concretos (De Koster et al. 2007).

Existen investigadores que, en los últimos años, han dedicado sus esfuerzos a identificar las diversas alternativas existentes, y han propuesto una serie de pasos a seguir a la hora de llevar a cabo un diseño o rediseño de un almacén (ver Tablas 2.1, 2.2). No obstante, en la práctica, para seleccionar la solución de diseño final se confía básicamente en la experiencia de cada diseñador (Gu et al. 2010). **Hasta el momento, no se han encontrado evidencias de la existencia de una metodología de diseño estructurada que logre guiar al diseñador, reduciendo el número de alternativas disponibles en base a las características del almacén y al rendimiento objetivo.**

Por todo lo expuesto anteriormente, existe una fuerte necesidad de desarrollar investigaciones que contribuyan a la propuesta de una metodología sistemática para el diseño de almacenes.

A continuación se describirán las principales metodologías de diseño de almacenes propuestas en la bibliografía (Rouwenhorst et al. 2000, Goetschalckx et al. 2001, Baker and Canessa. 2009, Gu et al. 2010). Cada una de ellas será presentada describiendo: (A) el punto de partida, (B) la metodología para el diseño de almacenes propuesta por los autores, y (C) una reflexión sobre sus puntos fuertes y débiles. El resto de metodologías propuestas, pero con menor relevancia en la bibliografía (Heskett et al. 1973, Apple. 1977, Firth et al. 1988, Hatton. 1990, Mulcahy. 1994, Oxley. 1994, Govindaraj et al. 2000, Rowley. 2000, Rushton et al. 2000, Bodner et al. 2002, Hassan. 2002, Waters. 2003, Rushton et al. 2006), serán simplemente sintetizados en las Tablas 2.1 y 2.2.

Tabla 2.1 Metodologías de diseño de almacenes

Pasos	Heskett et al. (1973)	Apple (1977)	Firth et al. (1988)	Hatton (1990)	Mulcahy (1994)	Oxley (1994)	Govindaraj et al. (2000)
1			Identificar las funciones del almacén	Determinar las tareas		Definir requisitos del sistema	
2	Determinar requisitos del almacén	Obtener datos	Recopilar datos y hacer proyecciones	Analizar calidad del producto	Colectar datos	Definir y obtener datos	Estructurar y analizar datos
3		Analizar datos		Analizar movimiento del producto	Analizar datos	Analizar datos	
4						Establecer unidades de carga (SKUs)	
5	Diseñar la manutención y la instalación	Diseñar los procesos	Desarrollar métodos alternativos	Desarrollar conceptos alternativos	Establecer parámetros de diseño anuales	Determinar procedimientos operativos	Determinar requerimientos funcionales
6		Planificar flujo de material	Combinar alternativas funcionales		Considerar diferentes equipos de manutención	Considerar equipos y características	Tomar decisiones de alto nivel
7		Calcular requisitos de equipos				Calcular cantidad y capacidad de equipos	
8		Planificar zonas de trabajo			Identificar zona de funciones administrativas	Definir servicios y procesos auxiliares	
9	Desarrollar Layout	Seleccionar equipo de manutención			Desarrollar Layouts alternativos	Preparar posibles Layouts	
10		Determinar necesidades de almacenaje		Desarrollar el sistema de gestión		Evaluar y comparar	Definir especificaciones del sistema y su optimización
11		Planificar funciones auxiliares	Seleccionar el sistema general			Identificar el diseño final	Reiterar pasos anteriores
12		Distribuir actividades en superficie total					
13		Construir el Layout					

Pasos	Govindaraj et al. (2000)	Rowley (2000)	Rushton et al. (2000)	Bodner et al. (2002)	Hassan (2002)	Waters (2003)	Rushton et al. (2006)
1	Definir requisitos del sistema y restricciones	Definir requisitos del sistema y restricciones	Definir requisitos del sistema y restricciones		Especificar tipo y función del almacén		Definir requisitos del negocio y restricciones
2	Estructurar y analizar datos	Definir y obtener datos relevantes	Definir y obtener datos	Recolectar datos	Pronosticar y analizar demanda esperada	Estimar demanda futura	Definir y obtener datos
3		Analizar datos	Analizar datos	Realizar perfil de los datos	Establecer políticas operativas	Pronosticar flujos	Formular una planificación base operativa
4		Establecer unidades de carga (SKUs)	Establecer unidades de carga (SKUs)		Determinar niveles de inventario		Definir principios operativos
5	Determinar requerimientos funcionales	Postular procedimientos operativos y sistemas	Postular métodos y operaciones básicas	Definir funciones a alto nivel	Crear clases de productos	Comparar equipos de manutención disponibles	Evaluar equipos
6	Tomar decisiones de alto nivel	Considerar características de distintos equipos	Considerar posibles equipos	Definir especificaciones a alto nivel	Separar en departamentos y establecer el Layout	Calcular el espacio necesario para flujo y stock	Preparar Layout interno y externo
7		Calcular cantidad de equipos	Calcular cantidad de equipos		Zonificar zonas de almacenaje	Identificar criterios de almacenaje	Definir procedimientos a alto nivel
8		Definir otras funciones	Calcular nivel de personal		Diseñar equipos de manutención y sistemas de almacenaje		Evaluar la flexibilidad del diseño
9		Diseñar posibles Layouts	Preparar posibles Layouts		Diseñar pasillos	Diseñar borrador de planos	Calcular cantidad de equipos
10	Definir especificaciones del sistema y su optimización	Seleccionar el diseño final	Evaluar el diseño según los requisitos iniciales	Realizar especificaciones del sistema	Determinar necesidad de espacio		Calcular nivel de personal
11	Reiterar pasos anteriores	Evaluar y comparar rendimientos esperados	Identificar el diseño final	Repetir pasos anteriores	Determinar puntos de entrada y salida	Definir plan o final	Calcular costos operativos
12		Hacer simulaciones			Determinar muelles		Evaluar el diseño según los requisitos iniciales
13					Determinar políticas de almacenaje y formar zonas de picking		Terminar el diseño seleccionado

Tabla 2.2 Metodologías de diseño de almacenes (continuación)

2.4.1. Metodología de diseño de almacenes de Rouwenhorst et al.

Rouwenhorst et al., han enfocado su trabajo a establecer un marco de referencia y una clasificación de problemas para el diseño y el control de almacenes. Su principal aportación es la identificación de una importante falta de estudios orientados al diseño general de almacenes. También señalan la necesidad de investigaciones que integren varios modelos y métodos, con el objetivo de desarrollar una metodología sistemática de diseño general (Rouwenhorst et al. 2000).

A. Punto de partida

Rouwenhorst et al., analizan los problemas que se afrontan a la hora de (re)diseñar almacenes y sus subsistemas. Revisan la bibliografía existente hasta el año 2000 relacionada con el diseño y el control de almacenes y concluyen que la mayoría de los trabajos científicos se centran en resolver problemas aislados, por lo general de carácter analítico. Sin embargo, la mayoría de los problemas de diseño identificados no pueden ser reducidos a análisis individuales de sub-problemas ya que el diseño requiere de habilidades analíticas y creatividad.

Los autores observan que generalmente el diseño del almacén comienza por una definición funcional, pasando por una especificación técnica, y finalizando en la selección de equipos y determinación del Layout. Adicionalmente, describen una metodología de siete pasos para guiar el diseño de un almacén y dividen las decisiones en estratégicas, tácticas y operativas.

B. Metodología para el diseño de almacenes

Los almacenes tienen tres dimensiones: procesos, recursos y organización. Los productos que llegan al almacén pasan por una serie de pasos llamados procesos operativos de flujo de material. Los recursos son todos aquellos medios, equipos y personal necesarios para que el almacén se encuentre operativo. Finalmente, la organización hace referencia a los procedimientos empleados. La Tabla 2.3 describe los aspectos incluidos en cada una de estas tres dimensiones.

Tabla 2.3 Dimensiones del almacén

Dimensiones	Procesos	Recursos	Organización
Descripción	*Recepción *Ubicación *Almacenaje *Preparación *Expedición	*Unidades de almacenaje (SKUs) *Sistema de almacenaje *Equipos de manutención *Tecnologías soporte *Personal	*Zonificación *Agrupación de órdenes y clasificación *Estrategias de almacenaje *Asignación de operarios a zonas/órdenes *Ruteo *Asignación de muelles

Rouwenhorst et al., proponen los siguientes pasos para diseñar un almacén:

- 1) Conceptualización.
- 2) Adquisición de datos.
- 3) Definición funcional.
- 4) Especificación técnica.
- 5) Selección de medios y equipos.
- 6) Definición del Layout.
- 7) Selección de políticas.

Las decisiones que deben ser tenidas en cuenta a lo largo de estos siete pasos se describen en base a un orden jerárquico definido por su horizonte temporal, y por tanto se sitúan en los planos estratégico, táctico u operativo. Las decisiones tomadas en los niveles más altos condicionan las decisiones tomadas en los niveles más bajos. Por tanto, se define un diseño más vasto en una primera etapa, para luego ir refinando los detalles en etapas posteriores. Esto también se conoce como un enfoque *top-down*.

En el nivel estratégico están las decisiones que tienen impacto a largo plazo, la mayoría relacionadas con grandes inversiones. Existen dos grupos de decisiones en este nivel: las relacionadas con el flujo de material, y las relacionadas con la selección de sistemas del almacén que implican una gran inversión. **El flujo de material define los procesos requeridos:** recepción, ubicación, almacenaje, preparación y expedición, así como también otros procesos adicionales. Estos últimos **impactan en la necesidad de medios y equipos que los soporten.**

Una decisión está fuertemente ligada con la otra. Por ejemplo, si se define la necesidad de un proceso de clasificación y consolidación, un equipo específico para desempeñar esta tarea debe ser adquirido. Y desde el punto de vista opuesto, un proceso de clasificación y consolidación es viable solamente si se cuenta con un equipo específico que lo permita.

Las unidades de almacenaje, los medios y equipos, y los sistemas de almacenaje tienen que ser adecuados a los productos con los que se trabaje, y no debe existir ningún tipo de conflicto entre las decisiones tomadas para estos tres recursos. El dato de entrada para tomar estas decisiones siempre tiene que estar ligado a las características físicas del producto y a la tipología de los pedidos. **El resultado debe ser una combinación de estas tres decisiones que logre una correcta manutención del producto, alcanzando las medidas de rendimiento objetivo.** Pero este resultado no es un único sistema, ni siquiera un grupo reducido de posibles sistemas. Puede incluir muchas posibles soluciones de diseño. Generalmente se intenta optimizar el coste, seleccionando la opción más económica de las técnicamente capaces.

Idealmente, todas estas decisiones a nivel estratégico deben ser tomadas de forma simultánea, pero en la práctica normalmente se desglosan en varias decisiones secuenciales, sin olvidar la fuerte interacción que existe entre ellas.

En el nivel táctico se encuentran las decisiones a medio plazo, condicionadas por las decisiones tomadas a nivel estratégico. Son decisiones de menor impacto, pero que aún requieren de cierto nivel de inversión. Normalmente están relacionadas con el dimensionamiento de los recursos, el diseño del layout y algunas decisiones organizacionales. Se deben tratar simultáneamente los siguientes problemas:

- Dimensiones de la zona de preparación.
- Dimensiones de las zonas ABC (según rotaciones).
- Las políticas de reaprovisionamiento y la agrupación de órdenes.
- La estrategia de almacenaje.
- Dimensiones del sistema de almacenaje.
- Utilización de los muelles.
- Número de equipos de manutención.
- Layout.
- Personal.

Las decisiones en el nivel operativo se toman enmarcadas en las limitaciones impuestas por las decisiones tomadas en los otros dos niveles y son decisiones con menor interacción. Son, principalmente, problemas de asignación y control de recursos.

- Ubicación de productos en función de la estrategia de almacenaje.
- Formación de lotes y secuencia de las órdenes.
- Asignación de tareas a operarios.
- Rutas.

La Figura 2.2 muestra las principales decisiones relacionadas con las tres dimensiones del almacén (Procesos, Recursos y Organización), y las divide según su horizonte temporal en estratégicas, tácticas u operativas.

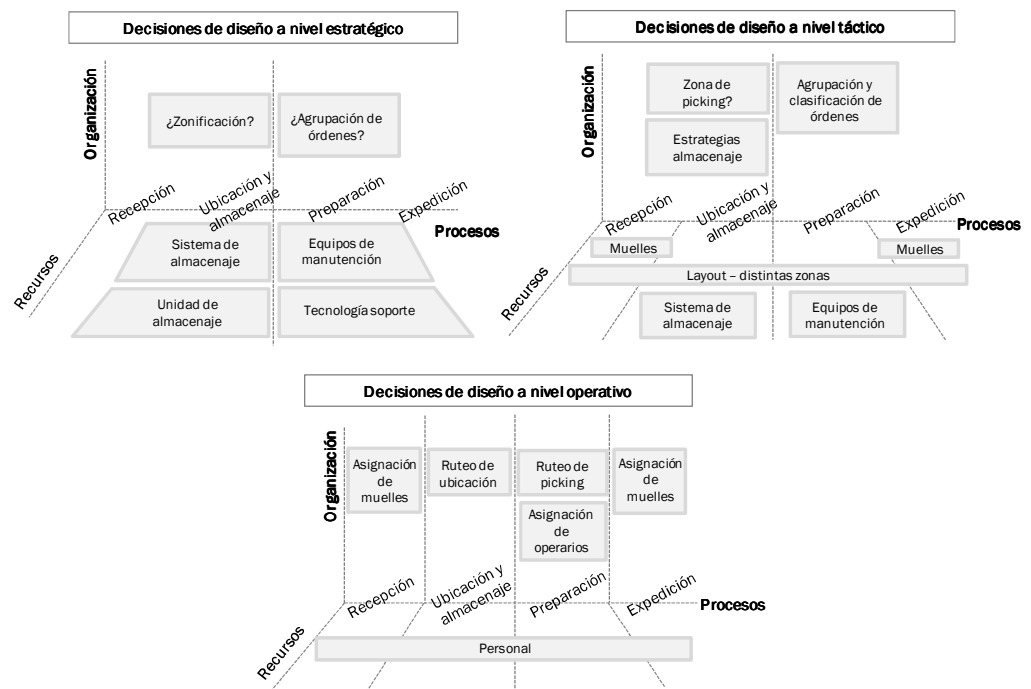


Figura 2.2 Decisiones a nivel estratégico, táctico y operativo

C. Análisis de la metodología propuesta por Rouwenhorst et al.

Rouwenhorst et al., se focalizan en los temas relacionados con los procesos que ocurren intra-almacén. Temas como la justificación económica, la localización del almacén, o la logística externa no han sido estudiados por estos autores. Tampoco estudian el factor humano, ni el control de calidad.

En su artículo, Rouwenhorst et al., enuncian la necesidad de una metodología sistemática que asista en el diseño de almacenes y describen la alta complejidad que implica este proceso. Adicionalmente, hacen una exposición de los principales problemas afrontados por los diseñadores y gestores de almacenes.

En lo que respecta al diseño, los autores presentan siete pasos, que aunque pueden parecer secuenciales, no lo son. Desglosan las decisiones según su horizonte temporal en: estratégicas, tácticas y operativas, y sugieren comenzar por las decisiones de más alto nivel, para luego ir bajando y diseñando las cuestiones a más bajo nivel condicionadas por las decisiones previas. Sin embargo, en esta jerarquización se pierde el orden secuencial de los siete pasos propuestos (conceptualización, adquisición de datos, definición funcional, especificación técnica, selección de medios y equipos, Layout y selección de políticas).

Por otra parte, no se detalla en qué manera un diseñador puede (aunque tome las decisiones jerárquicamente) seleccionar los medios, equipos y sistemas que se adapten a las necesidades del almacén, y diseñar el flujo de material y los sistemas en base a consideraciones de rendimiento (principales problemas identificados por el mismo autor). Tampoco se mencionan las herramientas que pueden ser útiles para llevar a cabo el proceso de diseño.

2.4.2. Metodología de diseño de almacenes de Goetschalckx et al.

Goetschalckx et al., contribuyen al desarrollo de una metodología de diseño estructurada, analizando la jerarquía de las decisiones. Señalan que hasta el momento el diseño del almacén se basa en la experiencia del diseñador o en una simulación detallada contemplando diferentes equipos y flujos de material dentro de la instalación (Goetschalckx et al. 2001).

A. Punto de partida

Goetschalckx et al., consideran que hace falta una metodología de diseño menos exigente en datos de entrada, más simple y que requiera poco tiempo para su ejecución. Ellos lo llaman *rapid prototyping tool* o herramienta de modelado rápido. Para los autores una metodología estructurada debe cumplir las siguientes condiciones:

- Debe ser capaz de buscar entre un amplio universo de soluciones, que se no encuentre limitado por la experiencia del diseñador.
- Los resultados del proceso deben ser replicables (a iguales datos de entrada, igual solución).
- Debe ser programable.

B. Metodología para el diseño de almacenes

Dada la complejidad del proceso, un procedimiento de diseño jerárquico parece ser la forma natural de llevarlo a cabo. Por esto, proponen un modelo jerárquico e iterativo que puede resumirse en los siguientes pasos:

- 1) Seleccionar para cada área funcional una o varias tecnologías, calcular la superficie requerida para cada área y los flujos de material entre diferentes áreas.
- 2) Determinar la distribución de las distintas áreas funcionales (Layout) y calcular la distancia entre ellas, en base a lo elegido en el paso anterior.
- 3) Obtener el coste total, incluyendo todos los transportes.
- 4) Actualizar los parámetros de costes utilizados en las fases 1) y 2), para poder realizar un proceso iterativo el cual finaliza cuando se encuentre una convergencia entre los parámetros de las tres primeras partes del algoritmo.

El diseño está basado en unos datos que probablemente cambien con el tiempo, sin embargo los autores asumen que dicha información es determinística y conocida con certeza.

Para llevar adelante un proceso de diseño, han desarrollado un algoritmo iterativo utilizando un software comercial de programación lineal, alimentado con una base de datos, dónde se van almacenando todas las soluciones y parámetros. El algoritmo contiene los aspectos mostrados en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Aspectos del algoritmo para diseño de almacenes (Goetschalckx et al. 2001)

Función objetivo	Normalmente se toma algún criterio económico como función objetivo. Por ejemplo, minimizar la suma de costes relacionados con la operativa diaria del almacén.
Áreas funcionales	Un almacén se modela como el conjunto de diferentes zonas por las cuales los materiales deben transitar desde su recepción hasta su expedición.
Flujo de materiales	La regla de Pareto puede ser utilizada para agrupar el gran número de SKUs almacenadas en pequeños grupos con características similares ya sean físicas o de flujo. Las SKUs pueden ser clasificadas en tres unidades de almacenaje principales: paletas, cajas o unidades.
Tecnología	Todas las zonas del almacén emplean una o varias formas de tecnología para lograr realizar su función. Se asume que las características de las tecnologías empleadas son perfectamente conocidas con antelación, por lo que el flujo, la capacidad de almacenaje y el coste pueden ser determinados por el modelo.
Recursos	Los recursos modelan la existencia de restricciones que impactan en varios productos, como por ejemplo horas laborables, horas/máquina, espacio disponible en m ² o m ³ , o presupuesto. Todos los recursos tienen una disponibilidad máxima en un periodo de tiempo.
Conservación del flujo	La conservación del flujo es una restricción que el modelo considera de tres formas diferentes: balance de flujo de productos durante su tránsito por las diferentes zonas del almacén, balance de almacenaje y stock, y balance de diferentes productos cuando son transformados en otros productos.

Goetschalckx et al., señalan la dificultad de encontrar la solución óptima, debido a las altas exigencias computacionales. Sugieren tres aproximaciones que pueden realizarse para reducir estas exigencias, pero éstas hacen que no valga la pena intentar optimizar una formulación tan simplificada. Las aproximaciones son:

- Excluir del modelo ciertos factores involucrados.
- Agrupar diferentes productos o dimensiones.
- Utilizar métodos heurísticos.

Los autores describen una secuencia de tres posibles modelos, cada uno más detallado que el anterior, para poder llevar a cabo el algoritmo iterativo que proponen.

1) Modelo “Continuo”

La Tabla 2.5 describe los aspectos calculados en el primer modelo, así como también los datos necesarios para dicho cálculo.

Tabla 2.5 Modelo continuo

Aspectos calculados	Datos necesarios
Número de estanterías y huecos	Volumen de los productos
Número de pasillos	Número y capacidad de estanterías
Coste de superficie y equipos	Número y dimensión de estanterías y pasillos
Coste de operación	Número y tiempo de extracciones y ubicaciones

2) Modelo “Dimensión vertical”

El segundo modelo contempla las dimensiones verticales entre baldas y el número de capas o alturas. También considera la asignación de productos individuales a baldas, para poder incluir la distancia vertical en el tiempo de extracción. Los cálculos en este modelo son más realistas que en el anterior, pudiendo contener miles de variables y restricciones. La utilización de heurísticos es sugerida para esta etapa.

3) Modelo “3D”

El tercer modelo considera explícitamente las tres dimensiones de los productos y de los sistemas de almacenaje. El número de variables y restricciones es aún superior al segundo modelo, por lo que es necesario un algoritmo más robusto. Por este motivo, este modelo se recomienda sólo para configurar la tecnología seleccionada. La solución de este modelo puede ser simulada para verificar la viabilidad de la del diseño propuesto.

C. Análisis de la metodología propuesta por Goetschalckx et al.

Los autores dan importancia al concepto de herramienta de modelado rápido: metodología de diseño menos exigente en datos de entrada, más simple y que requiera poco tiempo para su ejecución.

Sin embargo, el algoritmo iterativo propuesto por estos autores incluye solamente unas pocas alternativas, tanto tecnológicas como organizativas. Y si bien puede resultar una herramienta útil para el dimensionamiento de los recursos, la definición de cuáles utilizar según las características del almacén no parece clara.

2.4.3. Metodología de diseño de almacenes de Baker y Canessa

A pesar de la importancia que tiene el diseño de almacenes en el nivel de servicio y el coste de muchos negocios, Baker y Canessa no identifican en la bibliografía una metodología de diseño de almacenes general (Baker and Canessa. 2009).

A. Punto de partida

En la bibliografía abundan los trabajos que analizan diferentes problemáticas aisladas (selección de equipos, selección de políticas, etc.), sin embargo lo que hace falta según Baker y Canessa es una metodología que logre sintetizarlos a todos.

Los autores analizan las herramientas y los pasos de diseño propuestos por diferentes autores y los comparan intentando buscar un denominador común, o unos pasos básicos que puedan utilizarse con confianza dentro de un marco general. Para ello analizan las metodologías sintetizadas en las Tablas 2.1 y 2.2. Adicionalmente, para comprobar si este marco refleja los pasos utilizados en la práctica, fueron consultadas siete empresas que diseñan almacenes. De la misma forma, Baker y Canessa preguntaron a los entrevistados qué herramientas y técnicas utilizaban en cada etapa del diseño, incorporando las mismas a las que se habían identificado en la bibliografía.

Concluyen que hay una serie de puntos comunes en todas las metodologías de diseño de almacenes analizadas, pero además corroboraron que:

- El diseño del almacén es una tarea altamente compleja.
- Dicha complejidad se aborda proponiendo metodologías paso a paso.
- Dichos pasos están interrelacionados y la iteración es necesaria.
- Puede que no sea posible encontrar la solución óptima debido al gran número de posibilidades existentes en cada paso.

B. Metodología para el diseño de almacenes

La metodología propuesta por Baker y Canessa consta de once pasos, que serán detallados en la Tabla 2.6 junto con las principales herramientas identificadas:

Tabla 2.6 Pasos y herramientas para el diseño de almacenes (Baker and Canessa. 2009)

Nº	Descripción	Herramientas
1	Definir los requerimientos del sistema	Checklist Software comercial
2	Definir y obtener datos	Checklist Hojas de cálculo
3	Analizar datos	Hojas de cálculo Diagramas de flujo
4	Establecer unidades de carga	Hojas de cálculo Checklist
5	Determinar procedimientos operativos y métodos	Hojas de cálculo Checklist
6	Considerar posibles equipos y características	Árbol de decisión Matriz de atributos
7	Calcular capacidades de equipos y cantidades	Hojas de cálculo Manual equipos
8	Definir servicios y procesos auxiliares	Checklist Hojas de cálculo
9	Preparar el Layout	CAD Simulación
10	Evaluar	Simulación Checklist
11	Identificar la solución de diseño a implantar	Simulación Análisis DAFO*

*DAFO: Análisis de Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades

Con respecto al primer paso mencionan algunos de los requerimientos y restricciones estratégicos que pueden ser tenidos en cuenta (rol y funciones del almacén, ventaja competitiva y valor para el cliente).

Baker y Canessa coinciden con Frazelle, y sugieren obtener como datos relevantes las características del producto, el perfil de las órdenes, los patrones de demanda, entre otros. Para el análisis también recomiendan calcular el *Warehouse activity profiling* (Frazelle. 2002a).

En relación a las SKUs, coinciden con otros autores (Rushton et al. 2010), y señalan que esta no es una decisión aislada. Se debe tener en cuenta toda la cadena de suministro (consideraciones de clientes y proveedores).

Finalmente Baker y Canessa consideran fundamental incluir la flexibilidad en la etapa de diseño. Comentan que los recursos deben prepararse para proporcionar flexibilidad, por lo que el edificio, los equipos, el personal, y los procesos o sistemas deben soportar carga adicional y posibilitar llevar a cabo diferentes tareas.

C. Análisis de la metodología propuesta por Baker y Canessa

Baker y Canessa hacen un profundo análisis de los pasos utilizados para el diseño tanto en el mundo académico como en la práctica. Este estudio revela la falta de consenso existente tanto en los pasos que hay que seguir, como en las herramientas que pueden utilizarse para soportar cada uno de estos pasos. La mayor aportación de su investigación es la identificación de un denominador común, o unos pasos básicos que pueden ser utilizados dentro de un marco general, y una lista de las principales herramientas utilizadas.

Si bien este es un gran avance, la forma en que cada uno de estos pasos generales debe llevarse a cabo aún no es clara. Es por este motivo que Baker y Canessa finalizan su artículo incentivando a otros investigadores en este campo a que continúen dedicando sus esfuerzos a construir sobre previas aportaciones, con el fin de desarrollar una metodología de diseño que contemple la complejidad del almacén y sea útil en la práctica.

Por otra parte, se puede concluir que las herramientas más empleadas en las primeras etapas del diseño son las hojas de cálculo y las checklists, mientras que en las etapas posteriores se emplea la simulación para la selección de alternativas.

2.4.4. Metodología de diseño de almacenes de Gu et al.

Gu et al., presentan un esquema de las metodologías y herramientas disponibles para mejorar el diseño de almacenes, con el fin de identificar potenciales líneas de investigación futuras (Gu et al. 2010).

A. Punto de partida

Las decisiones que deben ser tomadas a la hora de diseñar un almacén están interrelacionadas y es difícil delinear un límite claro entre ellas. Es por este motivo que los autores consideran fundamental tener en cuenta las medidas de desempeño durante esta etapa, ya que una vez el almacén está diseñado, muchas decisiones allí tomadas son difíciles de modificar. Evaluar el rendimiento de un diseño en términos de coste, productividad, utilización del espacio y calidad del servicio, proporciona información acerca de las decisiones tomadas en cuanto a equipos y operativas, y de cómo mejorarlas. Es más, enfatizan la utilidad de un buen método de evaluación de desempeño durante el proceso de diseño, sugiriendo la utilización del benchmarking, de modelos analíticos y de simulación.

B. Metodología para el diseño de almacenes

Gu et al., describen el diseño de almacenes en cinco pasos:

- 1) Determinar la estructura general.
- 2) Dimensionar.
- 3) Definir el Layout.
- 4) Seleccionar equipos.
- 5) Seleccionar operativas.

Determinar la estructura general implica definir los departamentos funcionales: cuántas zonas de almacenaje son necesarias, soportadas en qué tecnología y empleando qué operativas. **El objetivo principal de esta etapa de diseño es alcanzar los requerimientos de desempeño, minimizando en lo posible el coste.** Con respecto a esta fase, los autores consideran que aún es necesario, como contribución científica, un modelo simple y validado que guíe el diseño de la estructura general del almacén.

El dimensionamiento, es la etapa en la cual se determinan la capacidad de almacenaje del almacén, e **implica determinar la cantidad de inventario que se deberá almacenar, las políticas de reaprovisionamiento y la estrategia de suministro a ser implementada.** Con respecto a este punto, Gu et al., señalan que, si bien se han propuesto modelos en la bibliografía, la mayoría han sido validados mediante simulación. Por este motivo incitan a otros investigadores a **desarrollar modelos que contemplen los patrones de demanda, las políticas de aprovisionamiento y las características de las órdenes, y a llevar a cabo casos para la validación** de dichos modelos. Adicionalmente, el dimensionamiento incluye trasladar las necesidades calculadas de almacenaje a necesidades en términos de superficie. Esta conversión se ve afectada principalmente por la decisión de definir diferentes zonas de almacenaje para distintos flujos o SKUs.

Definir el Layout engloba los costes del edificio y de los equipos de mantenimiento, la capacidad de almacenaje y la utilización del espacio y de los equipos.

La selección de equipos es un problema que involucra la definición del grado de automatización del almacén y qué tipo de sistemas de almacenaje y equipos de mantenimiento serán empleados. Los autores señalan que, en relación a este tema, en la práctica generalmente se confía plenamente en la experiencia del diseñador o gestor. Señalan que **una aportación importante sería el desarrollo de un método de caracterización de equipos que ayude a la selección entre las alternativas existentes, teniendo en cuenta los requerimientos de almacenaje.**

La selección de alternativas se focaliza en aquellas operativas que, una vez seleccionadas, tienen gran repercusión en el todo el sistema, y además son difíciles de modificar. Según Gu et al., las dos principales operativas son la estrategia de almacenaje y la zonificación de la preparación de pedidos. Con respecto a este aspecto, los autores señalan que **es necesario investigar para clarificar bajo qué circunstancias una estrategia de almacenaje afecta o no a la productividad o al tiempo dedicado a recorridos.** Adicionalmente, indican la necesidad de una **caracterización de las alternativas de preparación de pedidos que ayuden durante el proceso de diseño.**

C. Análisis de la metodología propuesta por Gu et al.

Si bien en su investigación Gu et al., mencionan cinco pasos de diseño generales (1) Determinar la estructura general, (2) Dimensionar, (3), Definir el Layout, (4) Seleccionar equipos y (5) Seleccionar operativas, su aportación se centra en la identificación de futuras líneas de investigación. Para cada paso señalan principalmente sus objetivos y principales problemas sin resolver.

Por este motivo, el trabajo realizado por estos autores aporta gran valor a aquellos investigadores que busquen realizar una aportación en lo que respecta al diseño de almacenes. Sin embargo, es la contribución científica en los puntos señalados la que mejorará las prácticas empresariales, siendo aún necesario desarrollar una metodología de diseño de almacenes general que guíe al diseñador a seleccionar la estructura, los equipos y las operativas a ser implementadas.

Puntos importantes a tener en cuenta:

- Para dimensionar el almacén es necesario tener en cuenta los patrones de la demanda, las políticas de aprovisionamiento y la estrategia de suministro.
- Una herramienta que ayude a la selección entre las alternativas existentes sería una aportación importante.

2.5. Conclusiones de la revisión bibliográfica

Se han detallado las principales metodologías de diseño de almacenes disponibles en la bibliografía. A continuación se resumirá qué aspectos serán recogidos en la metodología de diseño propuesta en la presente tesis doctoral, y que carencias se identificaron con el fin de realizar una aportación tanto al ámbito académico como a las prácticas empresariales.

De la misma forma que plantean Rouwenhorst et al., este trabajo de investigación se enfoca en los temas relacionados con los procesos que ocurren intra-almacén, por lo que la justificación económica, la localización y el rol del almacén, o la logística externa no serán analizadas y son cuestiones que deberán ser respondidas previamente en el proceso de diseño de un almacén.

Con respecto a la aportación de Goetschalckx et al., en esta tesis se retoma el concepto de herramienta de modelado rápido (metodología de diseño menos exigente

en datos de entrada, más simple y que requiera poco tiempo para su ejecución). **La metodología de diseño de almacenes que se busca desarrollar pretende ser una guía que proporcione la posibilidad de buscar una solución de diseño entre un amplio universo, no limitado por la experiencia del diseñador.**

Adicionalmente, esta investigación se basa en el denominador común, o **pasos básicos identificados por Baker y Canessa**, y en la **lista de las principales herramientas** utilizadas. Teniendo en cuenta la sugerencia de Baker y Canessa, este trabajo centra sus esfuerzos en desarrollar una metodología de diseño que contemple la complejidad del almacén y que sea útil en la práctica, construida sobre previas aportaciones realizadas por los académicos referentes en este campo.

Si bien otros investigadores han hecho importantes aportaciones relacionadas con el diseño de almacenes, aún existe la necesidad de desarrollar investigaciones que puedan contribuir a la propuesta de una metodología sistemática para el diseño que logre guiar al diseñador, reduciendo el número de alternativas disponibles en base a la complejidad y al rendimiento objetivo, y analizando dicha selección en detalle proponiendo herramientas para ello.

Como se apuntó en el capítulo 1, tanto el diseño de los procesos de flujo de material, como de las funciones logísticas son claves para un correcto rendimiento del almacén.

Si bien el dimensionamiento ha sido incluido como uno de los pasos dentro de la metodología de diseño descrita por Gu et al., en esta tesis doctoral **este concepto y el diseño de los procesos con flujo de material se abordan de forma secuencial**. Esto no quiere decir que se considere que ambos aspectos sean independientes, sino que el primero se utilizará como dato a la hora llevar a cabo el segundo. Es importante que el diseñador conozca a priori la capacidad que debería tener el almacén si se quiere alcanzar el rendimiento objetivo con las estrategias de suministro definidas, para luego poder definir qué equipos de manutención, sistemas de almacenaje y operativas serán implementadas.

Finalmente, siguiendo la recomendación de Gu et al., en este trabajo de investigación **se recogen modelos de referencia dónde se identifiquen las mejores prácticas de diseño físico y operativo con (Gu et al. 2010) el objetivo de usarlos como guía para el diseñador durante el proceso de diseño.**

Si se sintetizan los pasos propuestos por los cuatro trabajos de investigación con mayor relevancia en el ámbito del diseño de almacenes (Rouwenhorst et al. 2000,Goetschalckx et al. 2001,Baker and Canessa. 2009,Gu et al. 2010) y se considera que el dimensionamiento del almacén es una etapa previa al diseño de los procesos de flujo de material, se obtienen la secuencia de pasos mostrada a continuación:

1. Definir los requisitos del sistema.
2. Obtener y analizar los datos.
3. Preparar los posibles Layouts (zonas del almacén).
4. Considerar los posibles equipos y características
 - 4.1. Nivel de automatización
 - 4.2. Sistema de almacenaje
 - 4.3. Equipos de manutención
5. Determinar operativas
 - 5.1. Recepción
 - 5.2. Ubicación
 - 5.3. Almacenaje
 - 5.4. Preparación de pedidos
 - 5.5. Expedición
6. Evaluar posibles diseños
7. Identificar el diseño final

En la presente tesis doctoral estos siete pasos serán resumidos en una metodología de diseño de almacenes de cinco pasos, detallada en el Capítulo 6.

Capítulo 3.

Metodología de investigación

En este capítulo se detalla el programa que ha guiado el proceso de investigación de la presente tesis doctoral. Se incluye la justificación y la descripción de los métodos de investigación y las herramientas utilizados: Revisión bibliográfica, Estudio Delphi, Investigación en Acción, Diseño de Experimentos y Simulación de Eventos Discretos. Adicionalmente, este capítulo contiene un esquema del programa de investigación dividido en seis fases, detallando los métodos, las alianzas, los resultados y la productividad investigadora de cada una de dichas fases, y la relación de capítulos de la presente memoria.

El programa de investigación debe adaptarse a las preguntas de investigación y a los objetivos propuestos, ya que su finalidad es darles respuesta mediante la utilización de diferentes métodos y herramientas. Según la taxonomía de Järvinen, si el foco está puesto en el desarrollo o testeo de teorías vinculadas a la práctica, es adecuado utilizar métodos de investigación como el Estudio Delphi y la Investigación en Acción, entre otros (Järvinen. 2000).

Con respecto a la utilización de herramientas para estudiar la complejidad un almacén, Cormier y Gunn (Cormier and Gunn. 1992) revisan los trabajos académicos realizados en torno la optimización del diseño y la gestión de almacenes y señalan que un método puramente analítico, o puramente basado en simulación, no llevará al desarrollo de una metodología de diseño practica. Sin embargo, una combinación de ambas puede ser una buena opción a tener en cuenta (Rouwenhorst et al. 2000). Dado que esta tesis doctoral plantea como quinto objetivo (O5) el testeo de la utilidad de herramientas existentes para asistir el proceso de diseño, se han seleccionado el Diseño de Experimentos (DoE) y la Simulación de Eventos Discretos (DES) por su gran potencial al comparar un número reducido de alternativas.

3.1. Programa de investigación

El programa de investigación diseñado para esta tesis doctoral se ha compuesto de seis fases: (1) identificación del problema y formulación de objetivos, (2) desarrollo y mejora de un sistema experto para la mejorar de la gestión de inventarios (IRES), (3) desarrollo de una metodología general de diseño de almacenes, (4) mejora de la metodología de diseño, (5) validación de la metodología de diseño, y (6) conclusiones, limitaciones e identificación de futuras líneas de investigación. En cada una de dichas etapas se han combinado diferentes métodos y herramientas de investigación: (a) Revisión bibliográfica, (b) Estudio Delphi, (c) Investigación en Acción, (d) Diseño de Experimentos y (e) Simulación de Eventos Discretos. Para el desarrollo del programa de investigación, se ha contado con la colaboración de otras Universidades, centros tecnológicos y empresas, fruto de acuerdos y alianzas establecidas en el marco de la línea de investigación World-Class Warehousing. Como consecuencia, se obtuvieron resultados específicos difundidos a través de diversas publicaciones científicas (ver Publicaciones). El siguiente esquema sintetiza estos aspectos, señalando en qué capítulo de la memoria se han incluido (ver Figura 3.1).

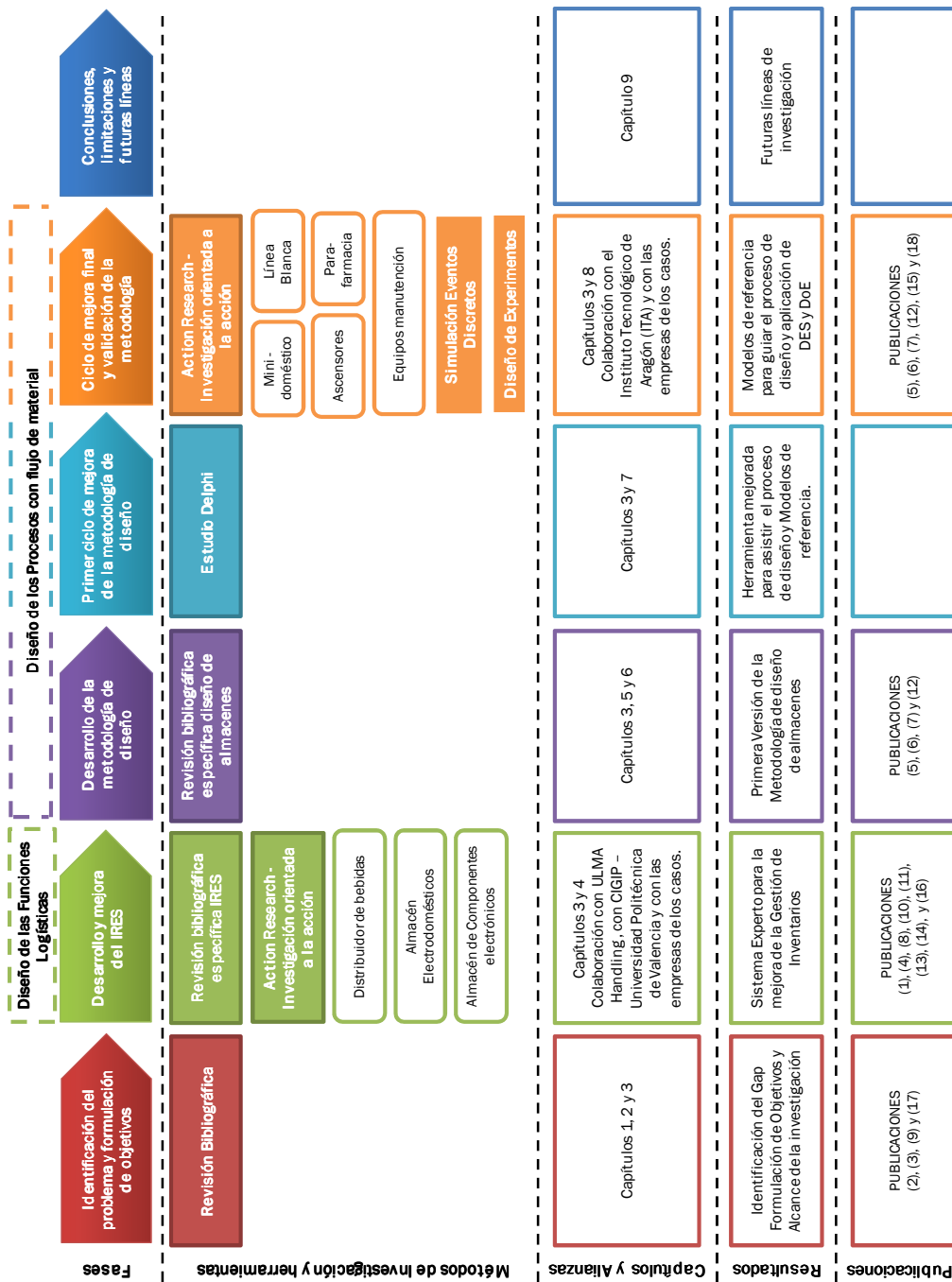


Figura 3.1 Esquema del programa de investigación

3.2. Revisión bibliográfica

La revisión bibliográfica es el primer paso para comenzar un proyecto de investigación. Su principal objetivo es posicionar la investigación para:

- Distinguir lo que se ha hecho y lo que aún falta por estudiar en un ámbito de conocimiento concreto.
- Establecer un contexto para el problema propuesto.
- Identificar las variables más relevantes para dar respuesta al problema.
- Relacionar conceptos teóricos con los disponibles en la práctica.
- Analizar qué metodologías de investigación y herramientas pueden emplearse.

Este trabajo de investigación está basado en una revisión bibliográfica estructurada, donde no solamente se identifican los “gaps” en la bibliografía, sino también los autores y revistas de referencia para la problemática analizada.

En primer lugar, la revisión bibliográfica general se ha realizado para identificar el problema de estudio, revelando las dificultades existentes a la hora de llevar a cabo el diseño de un almacén. Para ello, se realizó una primera búsqueda por palabras clave: “distribution centre”, “facility”, “material handling”, y “warehouse” combinadas con “design”, and “operation”. Los artículos más relevantes fueron seleccionados teniendo en cuenta el título y el resumen. Luego, de estos artículos, la búsqueda fue extendida, accediendo a los libros y artículos relevantes citados en los mismos.

De la primera revisión (trabajos que consideraban los pasos para el diseño de almacenes, problemáticas generales, factores que contribuyen a la complejidad del almacén y medidas de desempeño), se desprende la necesidad de una revisión más específica de los trabajos que examinan diferentes técnicas o herramientas para mejorar aspectos específicos del almacén.

Para contribuir con los objetivos de esta investigación, se han tenido en cuenta los requisitos y las carencias identificadas en la revisión general, contemplando a su vez los aspectos identificados en la revisión bibliográfica más específica.

Asimismo, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica de los métodos de investigación y herramientas existentes para seleccionar aquellos idóneos para dar respuesta a las preguntas de investigación y a los objetivos planteados.

La revisión bibliográfica de esta tesis doctoral se basa en 82 artículos de revistas científicas, 32 libros, 6 ponencias en congresos internacionales y 3 informes (reportes). La Figura 3.2 presenta la distribución temporal de los artículos, ponencias, libros y reportes analizados en la revisión bibliográfica. La misma señala una creciente dedicación a la investigación en estas temáticas, la cual se debe en gran medida al interés que tiene tanto para académicos y como para empresas.

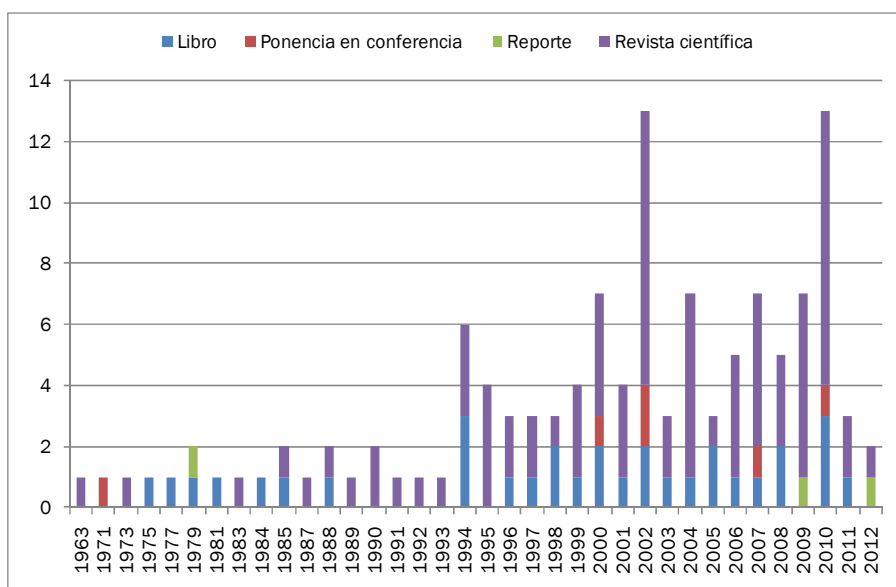


Figura 3.2 Distribución de tipos de fuentes empleadas

A continuación se resumen las características principales de las revistas científicas indexadas (ISI y Scopus) utilizadas para la revisión bibliográfica de diseño de almacenes (general y específica) y su respectivo índice de impacto en caso de estar indexada en ISI (ver Tabla 3.1). Éstas, y otras publicaciones no indexadas, corresponden al 75% del total de referencias analizadas en esta tesis doctoral. Adicionalmente se han utilizado otras 17 revistas para la revisión y selección de los métodos y herramientas de investigación utilizados.

Tabla 3.1 Revistas e índice de impacto

Revistas científicas: diseño de almacenes	Referencias	Indexado	F. impacto 2011	F. impacto 5 años
European Journal of Operational Research	10	ISI	1,815	2,277
International Journal of Production Economics	6	ISI	1,76	2,384
International Journal of Physical Distribution & Logistics Management	5	ISI	1.038	-
The International Journal of Advanced Manufacturing Technology	4	ISI	1,103	-
International Journal of Operations & Production Management	4	ISI	1,127	-
Expert Systems with Applications	3	ISI	2,203	2,455
Dirección y Organización	3	Scopus	-	-
IIE transactions	2	-	-	-
Computers & Industrial Engineering	2	ISI	1,589	1,872
Journal of Operations Management	2	ISI	4,382	6,012
Journal of the Operational Research Society	2	ISI	0.971	-
Integrated Manufacturing Systems	2	Scopus	-	-
Dyna	1	ISI	0,171	
International Journal of Advanced Manufacturing Technology	1	ISI	1,103	-
International Journal of Production Research	1	ISI	1,115	-
Operations research	1	ISI	1,995	
Sensor Review	1	ISI	0.595	-
Facilities	1	Scopus	-	-
International Journal of Retail & Distribution Management	1	Scopus	-	-
Logistics Information Management	1	Scopus	-	-
Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	1	Scopus	-	-

La revisión bibliográfica general ha revelado un gran alejamiento entre los desarrollos académicos y las prácticas empresariales, lo que ha llevado a la selección de un programa de investigación aplicado basado principalmente en: (1) el Estudio Delphi y (2) la Investigación en Acción.

3.3. Estudio Delphi

El estudio Delphi es una técnica cuyo objetivo es obtener el consenso de un grupo de expertos (Dalkey and Helmer. 1963, Turoff. 1971), por lo que puede verse como una técnica de decisión en grupo. Es un proceso iterativo que recoge el juicio anónimo de expertos utilizando técnicas de recolección y análisis de datos intercalados con intervalos de retroalimentación (Skulmoski et al. 2007). Es un método que puede ser empleado para construir teorías, contribuyendo de forma relevante al ámbito científico y al práctico (Okoli and Pawlowski. 2004). Como consecuencia, las empresas se benefician de las contribuciones de los expertos, pudiendo adaptarlas a sus situaciones particulares.

Este método evita la confrontación directa entre los expertos, imposibilitando que unas ideas se impongan a otras simplemente por la reputación de quien las plantea o por la fuerza con que se defienden (Dalkey and Helmer. 1963). Por otra parte, el tamaño de la muestra no depende de reglas estadísticas, sino de la dinámica del grupo de expertos para poder llegar a un consenso. Normalmente, en una población general, puede que no exista el conocimiento suficiente para contestar a las preguntas de forma adecuada, sin embargo, un grupo de entre 10 y 15 expertos es adecuado para componer el panel (Okoli and Pawlowski. 2004), siempre que la muestra sea homogénea. Si en cambio existe mucha diversidad (ejemplo: estudios internacionales) se necesita un número mayor de expertos, pudiendo llegar a los cientos (Delbecq et al. 1975).

Dado que los expertos permanecen anónimos entre ellos pero nunca para el investigador, es posible contrastar la interpretación de las variables con la persona que ha contestado ese cuestionario. Esto permite el seguimiento, la clarificación y la calidad de la información utilizada en el estudio (Okoli and Pawlowski. 2004).

Para comenzar el estudio Delphi se debe diseñar un primer cuestionario, y en función de la complejidad de las preguntas se determina una fecha de devolución del mismo. Luego, un nuevo cuestionario es diseñado en base a las respuestas obtenidas

y el proceso vuelve a repetirse hasta que se llegue a un grado adecuado de consenso (Okoli and Pawlowski. 2004). Delbecq et al., señalan que, para la mayoría de los proyectos de investigación, dos o tres iteraciones son suficientes. Explican que si la muestra es homogénea, menos de tres rondas pueden bastar para llegar a un resultado satisfactorio (Delbecq et al. 1975).

El punto más crítico de un estudio Delphi es la selección de los expertos. Es necesario que estén cualificados y que posean un profundo entendimiento del problema a analizar.

- En primer lugar se deben enumerar las capacidades y el conocimiento específicos que una persona debe poseer, así como también que organizaciones pueden ser relevantes.
- En segundo lugar se deben identificar los expertos adecuados para participar, y se debe hacer un ranking de los mismos en función de su idoneidad. Existen cuatro requerimientos para considerar a una persona experta en un tema (Adler and Ziglio. 1996): (1) conocimiento y experiencia en el tema estudiado, (2) capacidad y voluntad de participar, (3) tiempo suficiente para dedicar al estudio, y (4) habilidades de comunicación.
- En tercer lugar se invita a los expertos a participar y se les envía el cuestionario, por correo electrónico, fax o vía web.

3.4. Investigación en Acción (*Action Research*)

La Investigación en Acción (IA) es un proceso en el cual el conocimiento científico, se integra con el conocimiento existente en una organización para resolver un problema real en dicha organización. Simultáneamente busca el cambio en la empresa (desarrollando las competencias del equipo) y la contribución al conocimiento científico (Shani and Pasmore. 1985).

Como su nombre lo indica, la IA tiene como resultados la acción y la investigación (Coughlan and Coughlan. 2002), y puede aportar al desarrollo de programas de investigación aplicada en diversos campos, incluyendo la Logística (Näslund. 2002).

La IA puede verse como una variante del Estudio de Caso (EC), pero con la particularidad de que el investigador no es un observador independiente (Easterby-

Smith et al. 2008, Gummesson. 1999), sino un participante que además de tomar parte en la implantación busca evaluar una determinada técnica de intervención (Benbasat et al. 1987). Trata de influir en el desarrollo del proceso, interviene deliberadamente en el contexto de la investigación, con objeto de tratar de conseguir mejoras concretas en los resultados o para conducirlo de acuerdo con su interpretación de la situación en cada momento (Platts et al. 1998). El EC es un método versátil, que puede ser empleado tanto con fines exploratorios, como para construir, extender o probar una teoría (Rowley. 2002, Yin. 1994). Particularmente el EC ha sido uno de los más poderosos métodos empleados en el campo de la gestión de operaciones para el desarrollo de nuevas teorías. Asimismo, la utilización de múltiples casos permite el desarrollo marcos teóricos robustos (Ellram. 1996).

Aplicaciones de casos en el ámbito del diseño de almacenes han obtenido resultados satisfactorios ya que, además de haber encontrado una solución inmediata al problema analizado, han logrado un aprendizaje profundo de los resultados y una contribución al conocimiento científico. Por ejemplo, Dekker ha identificado la mejor combinación de estrategias de almacenaje y métodos para un almacén de herramientas y equipamiento para el jardín, reduciendo un 31% los tiempos de preparación (Dekker et al. 2004). Más casos han sido estudiados por otros autores, obteniendo resultados interesantes (van Oudheusden et al. 1988, Brynzér and Johansson. 1995)

Sin embargo, Gu et al., señalan la necesidad de llevar adelante **más casos para intentar acercar los trabajos académicos a las prácticas empresariales**, proporcionado a la comunidad científica un mejor entendimiento de los problemas reales afrontados a la hora de diseñar un almacén (Gu et al. 2010).

Debido al carácter práctico de los objetivos planteados en esta tesis doctoral, se considera que la IA es el método de investigación idóneo para alcanzarlos de forma satisfactoria. Según Näslund (Näslund. 2002), simplificar el “mundo real” para poder utilizar ciertos métodos cuantitativos puede alejar la investigación de la práctica diaria, perdiendo gran parte del beneficio para las compañías. Dado que el objetivo de este trabajo es liderar las prácticas empresariales en lugar de ir por detrás de ellas, los investigadores deben entender lo que sucede desde dentro de la empresa. Para esto la investigación en acción puede ser una buena forma de construir nuevas teorías basadas en la práctica.

Para llevar adelante un caso de investigación en acción se debe seguir un ciclo de seis pasos, precedidos por un paso previo de contextualización del problema, y acompañados en todo momento por un metapaso de monitorización.

Durante la **Contextualización** se deben contestar las siguientes preguntas, con el fin de ratificar la necesidad de utilizar la IA como método de investigación, dado que se busca contribuir tanto con la práctica como con el mundo académico (Karlsson, 2008):

- ¿Qué motiva la acción?
- ¿Qué motiva la investigación?

1. El primer paso es la **Recogida de datos**, dónde se coleccionan todos los datos necesarios para el análisis. Dependiendo del contexto, dichos datos pueden ser “hard” (datos operativos, informes o estadísticas), o bien “soft” obtenidos mediante entrevistas, observación y discusión.
2. Como segundo paso, se busca el **Feedback** de la empresa y se prepara la información recogida en el paso anterior para el análisis. Muchas veces, la información es recogida por el cliente (empresa) y el investigador comienza el ciclo directamente en esta etapa.
3. Durante el tercer paso se **Analiza la información**. Normalmente esta etapa se realiza de forma conjunta con el cliente, ya que es quien conoce en profundidad la organización.
4. El cuarto paso implica la **Planificación de la acción**, donde se establecen todas las actividades a desarrollarse de forma conjunta con el cliente.
5. El quinto paso es la **Implementación** de la acción planeada.
6. El sexto paso es la **Evaluación**, donde se reflexiona sobre los resultados obtenidos a partir de la acción. Esta es la etapa clave para el aprendizaje.

Adicionalmente se realiza un metapaso (etapa llevada a cabo de forma simultánea con los otros seis pasos) de **Monitorización** donde se controla el proyecto de manera continua durante todas las fases del ciclo. Normalmente se realizan muchos mini-ciclos, los cuales también pueden verse como único ciclo que los incluye.

3.5. Diseño de Experimentos (DoE)

Se ha demostrado en estudios anteriores que el DoE es una herramienta útil a la hora de diseñar procesos/productos (Bhote and Bhote. 2000, Czitrom and Spagon. 1997). DoE es una técnica estructurada para poder caracterizar, mejorar y optimizar un proceso de manera eficiente a través de la recopilación, análisis e interpretación de datos (Box et al. 2005). Hace posible contemplar simultáneamente diversas posibilidades, consumiendo menor cantidad de recursos para obtener la misma o mayor cantidad de información que estrategias de experimentación como “Un factor a la vez” o “Prueba y error”. Además, permite ver no sólo el impacto de los factores considerados sobre la respuesta, sino también la existencia de relaciones entre los mismos (Tanco et al. 2009).

Algunas investigaciones realizadas en el ámbito de la gestión de almacenes han empleado el DoE como herramienta: para comparar diferentes políticas de preparación, de ruteo y de almacenaje según diversos tamaños de pedidos en un sistema manual Operario a Producto (Petersen and Aase. 2004); para identificar el factor que afecta de manera más crítica el rendimiento de un sistema AS/RS (*Automatic Storage and Retrieval System*) (Manzini et al. 2006); para identificar y medir los impactos principales de políticas alternativas y diversas configuraciones en un sistema Producto a Operario analizando el tiempo de respuesta como variable de salida (Manzini et al. 2007); o para evaluar los efectos de parámetros de diseño predefinidos en un sistema automatizado AVS/RS (*Autonomous Vehicle Storage and Retrieval System*) (Ekren et al. 2010).

3.6. Simulación

En la mayoría de los trabajos de investigación citados en el sub-apartado anterior, los autores han empleado la simulación como medio para llevar adelante su Diseño de Experimentos. El uso de un modelo es apropiado para estudiar y experimentar interacciones entre las variables que componen sistemas complejos, sin perturbar el sistema real (Banks and Carson. 1984). Por este motivo resulta conveniente en casos en los que experimentar resulte costoso o implique distorsiones en el funcionamiento del sistema real que no puedan permitirse.

La simulación puede definirse como la construcción de modelos que representen sistemas ya existentes o hipotéticos (Khoshnevis. 1994), y la experimentación con

dichos sistemas para explicar el comportamiento de los mismos, mejorar sus rendimientos o diseñar nuevos sistemas con desempeños deseados. Existen diferentes métodos de simulación, pero el más extendido es la Simulación de Eventos Discretos (Jahangirian et al. 2010). Es una técnica en la que se modela el sistema analizado, representando el estado de sus elementos mediante variables que cambian a medida que pasa el tiempo de manera discreta (Goti-Elordi et al. 2010).

Gu et al., señalan que a pesar de las limitaciones de la simulación en cuanto a que los modelos son simplificaciones y generalizaciones de la realidad, esta herramienta es la más utilizada tanto a nivel académico como en la práctica para evaluar el rendimiento de soluciones de diseño de almacenes (Gu et al. 2010).

Capítulo 4.

Sistema Experto para la Gestión de Stocks: IRES

En este capítulo se describe el desarrollo de una herramienta (IRES) que además de ser útil en la etapa de dimensionamiento del almacén, integra las funciones logísticas de gestión de la demanda, planificación del servicio, planificación del stock y planificación del aprovisionamiento. Este es el primer resultado de esta tesis (R1), contribuyendo a la consecución del primer objetivo (O1).

Se parte del concepto de dimensionamiento del almacén, para luego hacer una revisión bibliográfica específica de los conceptos relacionados con el diseño de las funciones logísticas y los diferentes sistemas desarrollados en la bibliografía para asistir durante este proceso. También se incluyen los tres casos de investigación en acción utilizados para mejorar y comprobar la utilidad práctica del IRES, y los pasos seguidos para llevar a cabo el desarrollo informático y la comercialización de la herramienta.

4.1. Dimensionamiento del almacén

El dimensionamiento de un almacén implica, principalmente, determinar qué capacidad de almacenaje éste debe tener (Gu et al. 2010). Este cálculo engloba la cantidad de material inmovilizado, supeditado a la forma de realizar las funciones logísticas de gestión de la demanda, planificación del servicio, planificación del stock y planificación del aprovisionamiento. Adicionalmente, el dimensionamiento incluye trasladar las necesidades de almacenaje calculadas a necesidades en términos de zonas y espacios. Esta conversión se ve afectada principalmente por la decisión de zonificar el almacén para distintos flujos de materiales.

En los últimos tiempos la complejidad de las tareas realizadas en almacenes y plataformas logísticas ha aumentado debido a las estrategias de diversificación que desarrollan las empresas con el objeto de impulsar su nivel competitivo (Rushton et al. 2010), Esto conlleva la necesidad de pronosticar la demanda de manera ajustada para conseguir anticiparse a los pedidos de los clientes y poder servir con rapidez y lograr, de esta forma, bajos niveles de inventario de producto terminado, y un mejor nivel de servicio brindado al cliente (Buffa and Miller. 1979, Hax and Candea. 1979, Silver et al. 1998). Además, algunos autores (Tiacchi and Saetta. 2009, Tratar. 2010) señalan que, aunque las previsiones sean utilizadas como una variable de entrada en la mayoría de sistemas de gestión de inventario existentes, es importante relacionar las previsiones de demanda con las políticas de aprovisionamiento empleadas, y esta relación generalmente se ignora.

Es por este motivo que el dimensionamiento del almacén no puede ser tratado de forma aislada, sino que debe integrar las funciones logísticas de gestión de la demanda, planificación del servicio, planificación del stock y planificación del aprovisionamiento (Sabrià. 2004).

Gu et al., incitan a los investigadores a desarrollar modelos que contemplen los patrones de demanda, las políticas de aprovisionamiento y las características de los órdenes, y a llevar a cabo casos para la validación de dichos modelos (Gu et al. 2010).

Tomando en consideración todo lo mencionado en este apartado, este trabajo de investigación profundizó en la bibliografía, haciendo una revisión bibliográfica específica en lo que concierne a las funciones logísticas. Se analizaron las soluciones

disponibles en la bibliografía para su diseño y gestión, y se hizo una crítica a los programas comerciales existentes para llevar a cabo estas tareas.

Adicionalmente, en este capítulo se propone una nueva herramienta para el dimensionamiento del stock, la gestión de la demanda, la planificación del servicio y la planificación del aprovisionamiento. La herramienta ha sido testeada y validada en tres casos en empresas de diferentes sectores, y finalmente desarrollada informáticamente para formar parte de un paquete comercial.

4.2. Diseño de las funciones logísticas

El diseño de los procesos operativos con flujo de material de un almacén, se responsabiliza de garantizar el nivel de servicio a los clientes según la política de servicio establecida, para que la empresa desarrolle adecuadamente sus operaciones minimizando de manera conjunta los costes de capital invertido y los costes logísticos con los medios y equipos idóneos (Errasti. 2011). Previa a dicha planificación operativa, es necesario analizar, definir y diseñar las funciones logísticas. La Figura 4.1 muestra dichas funciones:

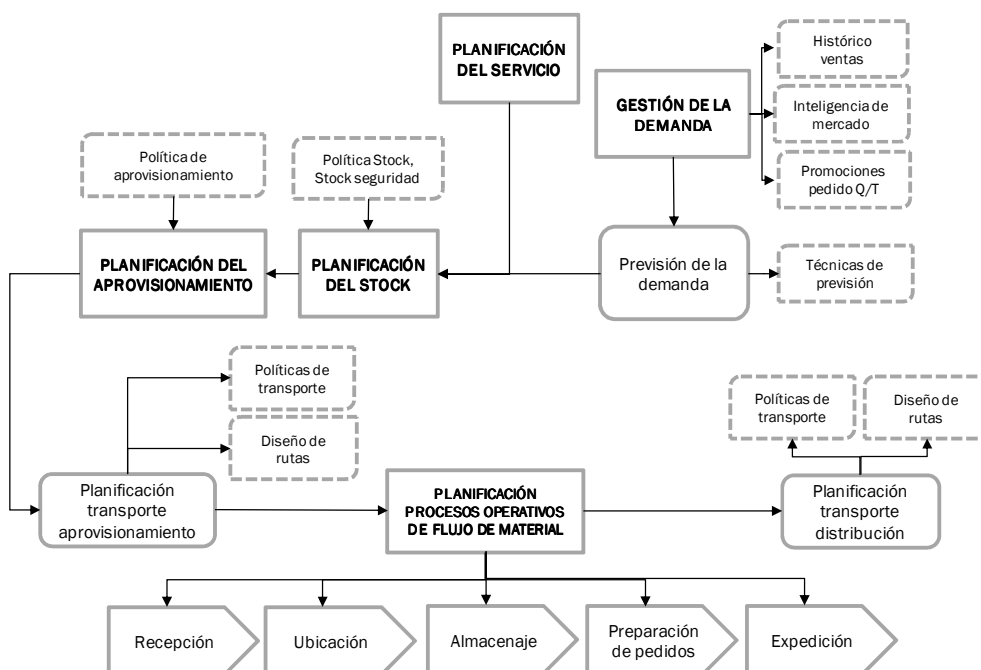


Figura 4.1 Funciones logísticas (Errasti. 2011), modificado

El mencionado incremento de la complejidad está haciendo imposible el control y seguimiento manual del material inmovilizado. Para poder realizar esta tarea de manera automatizada hay disponibles en el mercado una gran variedad de productos especializados en la gestión de referencias. Pero debido a su elevado coste o a su complejidad de uso, solamente un porcentaje muy reducido de empresas los utilizan (Errasti. 2009)

Diversos autores han desarrollado y sugerido sistemas expertos para la gestión del stock y el aprovisionamiento (Nagarur and Baid. 1994, Liu and Ridgway. 1995a, Liu and Ridgway. 1995b). Los sistemas expertos fueron creados a mediados de los sesenta por la comunidad de Inteligencia Artificial. La idea básica de estos sistemas es, con el fin de funcionar de la misma manera que lo haría un consultor, transferir la experiencia humana a aplicaciones computacionales. Esta tecnología proporciona soluciones a problemas específicos, siendo capaz de enseñar la lógica que hay detrás de los resultados (Turban et al. 2007).

Para poder asegurar que uno de estos sistemas está funcionando de forma correcta, basta con medir indicadores de desempeño como las roturas de stock y las rotaciones, así como controlar las características de la demanda (Watts et al. 1994).

En este contexto, Nagarur y Baid diseñaron un sistema para gestionar el stock que determina el nivel óptimo de inventario y las políticas de reaprovisionamiento para cada referencia, en base a previsiones y simulación (Nagarur and Baid. 1994).

Liu y Ridgway, un año más, tarde proponen un sistema cuyo objetivo es reducir el coste del inmovilizado y mejorar la productividad y el nivel de servicio. Para lograrlo proponen la ejecución de una secuencia de módulos que involucran (1) una clasificación de referencias, (2) la utilización de métodos de previsión y (3) la selección de una estrategia de aprovisionamiento (Liu and Ridgway. 1995a, Liu and Ridgway. 1995b). Las siguientes sub-secciones describen brevemente el estado del arte referente a estos tres aspectos.

4.2.1. Clasificación de referencias

Normalmente las referencias se clasifican en categorías ABC y XYZ. La primera clasificación responde a la ley de Pareto, donde los artículos A representan el 80% de la demanda, los B un 15% y los C el 5% restante. La segunda clasificación se sustenta en el supuesto de que la demanda se distribuye según una distribución Normal, y así

es considerada en muchos sistemas propuestos en la bibliografía para la gestión de stocks (Pfohl et al. 1999, Cheng and Chou. 2008). Reiner y Trcka proponen una forma de clasificar las referencias según un análisis XYZ basado en el cálculo de la desviación estándar (Reiner and Trcka. 2004).

Sin embargo, el número de productos que se comportan de acuerdo con una distribución Normal están decreciendo rápidamente debido a las nuevas políticas de diversificación y ampliación de gama adoptadas por las compañías últimamente. De acuerdo con Miragliotta y Staudacher los patrones de demanda clásicos están tendiendo a desaparecer, para ser sustituidos por patrones estocásticos e irregulares (Miragliotta and Staudacher. 2006). Mattsson asegura que el desempeño de un sistema de gestión de stocks no depende de lo bien que funcione teóricamente, sino de lo adecuados que sean los supuestos en los que se basa (Mattsson. 2007). En consecuencia, un método de clasificación XYZ que se base en la normalidad de la demanda puede no proporcionar los resultados esperados.

Los patrones que deben ser tenidos en cuenta a la hora de analizar la demanda y clasificar productos son: la estacionalidad, la tendencia, la periodicidad y la inestabilidad o intermitencia (Webby and O'Connor. 1996). Esto refuerza la necesidad de clasificar las referencias según un XYZ que no se base únicamente en la desviación estándar de la demanda, sino que agregue otros parámetros que permitan identificar los patrones mencionados por Webby y O'Connor.

4.2.2. Métodos de previsión

Los métodos de previsión de la demanda pueden ser divididos en cualitativos y cuantitativos. Los primeros se basan el juicio y en la experiencia humana, mientras que los otros se ciñen a la utilización de reglas estadísticas (Errasti. 2009). A pesar de la gran diversidad existente, hay autores que consideran de vital importancia encontrar un equilibrio entre la calidad del ajuste y la complejidad del método, recomendando en ciertos casos la utilización de un método más simple a pesar de reducir la exactitud del pronóstico (Poler et al. 2010). La Figura 4.2 muestra un resumen de los métodos más populares; los más simples en cuanto a utilización son las Series Temporales.

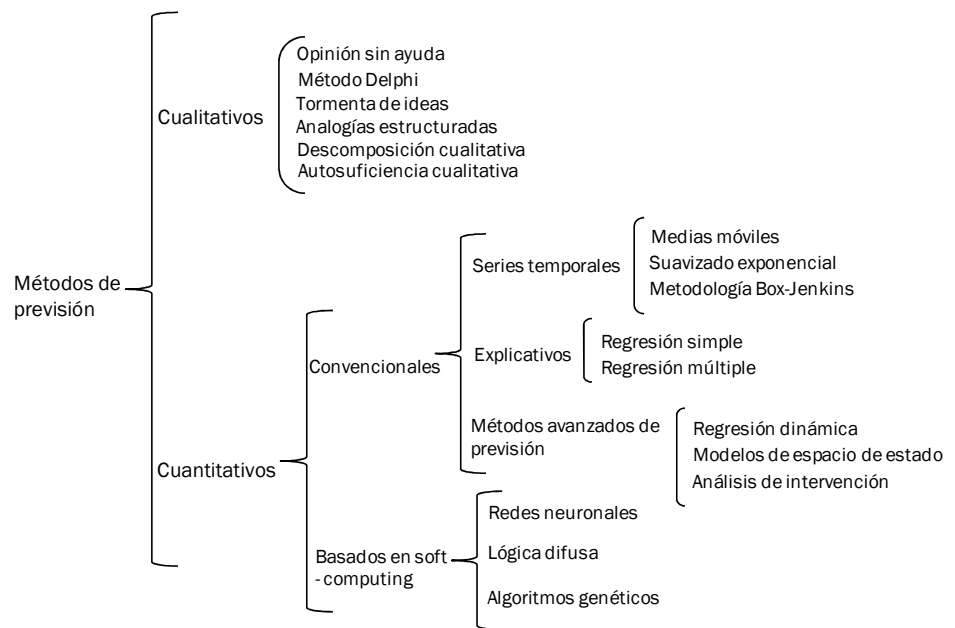


Figura 4.2 Métodos de previsión de la demanda, (Errasti. 2009), modificado

4.2.3. Políticas de reaprovisionamiento

Lewis clasifica las políticas de reaprovisionamiento en dos grupos básicos (Lewis. 1981). El primero se conoce como políticas según un punto de pedido o sistemas de revisión continua (SRC), y las decisiones se toman en base al nivel del stock. El segundo grupo se denomina de revisión periódica (SRP) y las decisiones se toman en base a un tiempo de revisión predefinido. Las Figuras 4.3 y 4.4 muestran la lógica de cada uno de estos dos grupos.

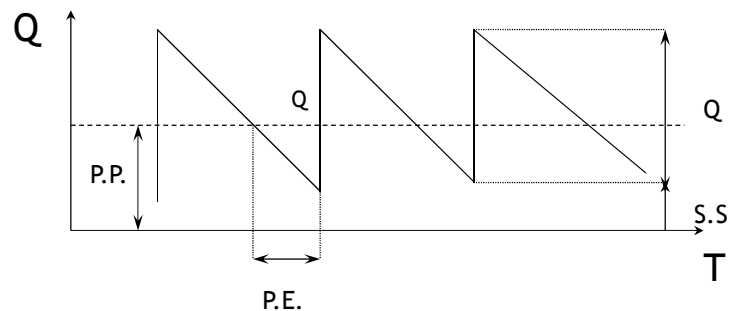


Figura 4.3 Sistema de revisión continua

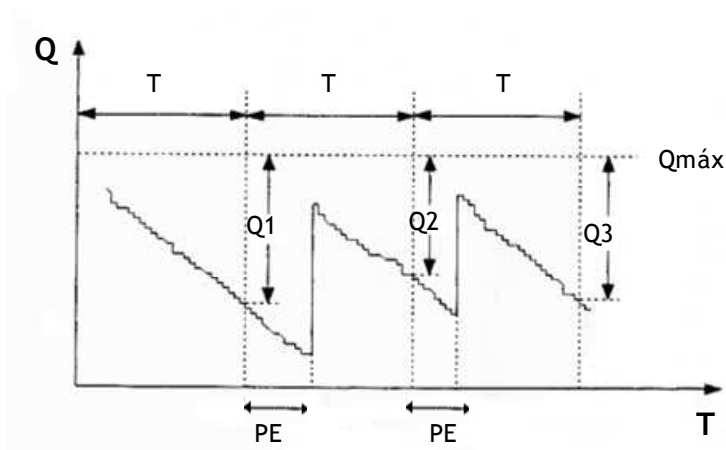


Figura 4.4 Sistema de revisión periódica

Como se ve en las figuras, en el curso de un SRC cada vez que el stock baja del punto de pedido (PP) se pide al proveedor una cantidad fija (Q) que llegará una vez transcurrido el plazo de entrega (PE), mientras que en un SRP se fija un nivel de stock máximo ($Q_{\text{máx}}$) y cada un periodo de tiempo fijo (T) se pide una cantidad variable (Q_1 , Q_2 , Q_3) para alcanzar el nivel de stock máximo.

También existen sistemas híbridos o combinaciones de los sistemas de revisión continua o periódica puros, en los cuales se incluyen variaciones en relación a las cantidades pedidas o a la periodicidad de la revisión (Liu and Ridgway. 1995b)

Por lo mencionado anteriormente se observa que existe, tanto en las empresas como en el mundo académico, una necesidad de disponer de herramientas sencillas que ayuden a dimensionar el inventario, contemplando en conjunto las funciones logísticas de gestión de la demanda, planificación del servicio, planificación del stock y planificación del aprovisionamiento. Este objetivo puede lograrse mediante el desarrollo de un sistema experto² que incluya una adecuada clasificación de las referencias según diversos patrones de demanda, métodos de previsión ajustados (sin dejar de ser simples) y diferentes políticas de reaprovisionamiento (Nagarur and Baid. 1994, Liu and Ridgway. 1995a, Liu and Ridgway. 1995b).

² Un sistema experto es una herramienta computacional avanzada creada para la transferencia de la experiencia humana (Comunidad de Inteligencia Artificial).

4.3. Propuesta inicial del Sistema Experto

A partir de la revisión bibliográfica realizada, se ha desarrollado un nuevo sistema experto para la gestión de inventarios denominado IRES por sus siglas en inglés (*Inventory Replenishment Expert System*). El sistema realiza una clasificación de las referencias que refleja los patrones de la demanda, relaciona el stock de seguridad con el nivel de servicio objetivo, define el método de previsión más adecuado y sugiere la mejor estrategia de aprovisionamiento en función del cálculo de una serie de indicadores de desempeño.

El IRES permite al diseñador conocer a priori la capacidad que debería tener el almacén si se quiere alcanzar el nivel de servicio objetivo con las estrategias de suministro definidas. **Uno de los resultados obtenidos es el dimensionamiento del almacén para dar respuesta a las exigencias de los clientes, contemplando los patrones de la demanda y racionalizando los costes destinados a material inmovilizado.** Esta herramienta puede utilizarse en el proceso de diseño (etapa en la que se centra esta tesis doctoral), pero también puede utilizarse en la operativa diaria como soporte para alcanzar una gestión semi-automatizada del reaprovisionamiento.

El IRES está compuesto por 5 módulos (ver Figura 4.5), que serán detallados en los párrafos siguientes.

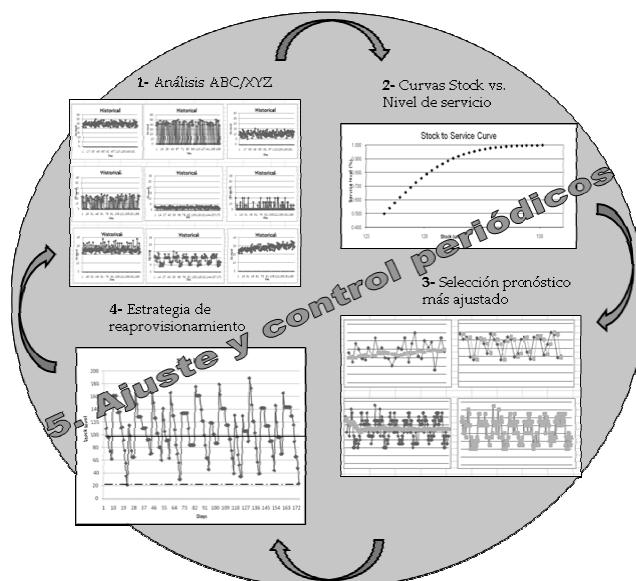


Figura 4.5 Esquema del Sistema Experto IRES

El **primer módulo** clasifica las referencias de acuerdo al análisis ABC/XYZ y en función de la información histórica de ventas de las mismas. Se propone una clasificación sustentada básicamente en dos criterios:

1. Contribución al consumo en valor o cantidad. Se realiza un análisis de Pareto por cantidad y se divide las referencias según contribuyan al 80% (A), 15% (B) o 5% (C) de las ventas en volumen (porcentajes modificables en función del modelo de negocio).
2. Tipo y complejidad de la demanda (XYZ). Si el consumo se realiza de forma regular se considera X, si presenta cierta tendencia o estacionalidad, ya sea mensual o semanal, se clasifica como Y, mientras que si la demanda aparece de forma irregular o incluso intermitente se denomina Z. Por lo tanto, esta clasificación no solamente considera la desviación de los datos, sino que también identifica patrones de comportamiento repetitivos en el consumo de los artículos. En la clasificación XYZ no hay límites predefinidos, ya que los porcentajes son modificables en función del modelo de negocio. Por este motivo es necesario determinar dichos límites en conjunto con el usuario.

El **segundo módulo** calcula el nivel de stock de seguridad necesario para alcanzar el nivel de servicio que se desea dar al cliente. Esta relación obedece la siguiente ecuación: $SS = Z \cdot \text{var} \cdot \sqrt{PE}$ (1)

Donde var representa la desviación estándar de la demanda, PE es el plazo de entrega del proveedor y los valores de Z para cada nivel de servicio objetivo se obtienen de la tabla de distribución normal (probabilidad en la tabla).

El **tercer módulo** selecciona el pronóstico de series temporales (suavizado exponencial, medias móviles, media aritmética y último valor) más ajustado para cada clase ABC/XYZ en función del cálculo del error MAD (desviación absoluta media). Se utiliza para ello un sistema de horizonte rodante, donde se simula que no se tiene el último dato real, se calcula su pronóstico y finalmente se obtiene el error de la diferencia en valor absoluto de estas dos cifras. El MAD es el promedio de los errores en un determinado periodo de tiempo. Si bien el error puede determinarse de diferentes maneras, se ha seleccionado el uso del MAD debido a su facilidad de comprensión y utilización.

$$MAD = (\sum_{i=1}^n |S_i - \hat{S}_i|) / n \quad (2)$$

- Último valor: El valor del pronóstico para el próximo periodo es igual a la última demanda registrada.

$$\hat{S}_{i+1} = S_i \quad \text{con } i+1 \geq 2 \quad (3)$$

- Media aritmética: Se realiza un promedio simple de los datos históricos del periodo analizado.

$$\hat{S}_{n+1} = (\sum_{i=1}^n S_i) / n \quad \text{con } n+1 \geq 3 \quad (4)$$

- Medias móviles: Se construyen calculando la media de los datos históricos, considerando únicamente un periodo fijo de tiempo. De esta forma no se contempla todo el histórico pasado sino, por ejemplo, la última semana.

$$\hat{S}_{n+1} = \sum_{i=n-t}^n S_i \quad \text{con } t \geq 1, n \geq t \quad (5)$$

- Suavizado exponencial: Esta técnica se caracteriza por dar diferentes pesos a las demanda anteriores. La demanda de los periodos más recientes recibe un peso mayor y los pesos de los periodos sucesivamente anteriores decaen de una manera exponencial. Para realizar el cálculo son necesarios: la última demanda real y el pronóstico más reciente obtenido con otro método.

$$\hat{S}_{n+1} = \alpha * S_n + (1 - \alpha) * \hat{S}_n \quad \text{con } 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (6)$$

- Suavizado exponencial con tendencia

$$\hat{S}_{n+1} = \alpha * S_n + (1 - \alpha) * \hat{S}_n \quad (\text{sin tendencia}) \quad \text{con } 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (7)$$

$$T_{n+1} = \beta * (\hat{S}_{n+1} - \hat{S}_n) + (1 - \beta) * T_n \quad (\text{tendencia}) \quad \text{con } 0 \leq \beta \leq 1 \quad (8)$$

$$\hat{S}T_{n+1} = \hat{S}_{n+1} * (T_{n+1} / \alpha) \quad (\text{pronóstico con tendencia}) \quad (9)$$

- Suavizado exponencial con estacionalidad: En este caso, se utiliza casi el mismo procedimiento que en el Suavizado exponencial simple, pero utilizando el factor de estacionalidad (Sf).

$$Sf_j = \sum_{\text{mes } j} S_i / \sum_{\text{año}} S_i \quad (10)$$

$$S_n \text{ sin estacionalidad} = S_n / Sf_j \quad \text{con } S_n \text{ consumo durante el mes } j \quad (11)$$

Luego se utiliza la fórmula del Suavizado exponencial pero con S_n sin estacionalidad en lugar de S_n . Finalmente se agrega la estacionalidad multiplicando por Sf.

$$S_n \text{ con estacionalidad} = \hat{S}_{n+1} * Sf_j \quad (12)$$

Donde en todos los casos \hat{S} se refiere a la previsión del periodo indicado en el subíndice y S corresponde a la demanda real.

El **cuarto módulo** propone una estrategia de reaprovisionamiento haciendo uso del método de previsión elegido. Se tienen en cuenta tanto las estrategias puras tradicionales (sistema de revisión continua SRC y sistema de revisión periódica SRP), como modificaciones de las mismas contemplando el consumo medio previsto, así como también la máxima demanda registrada en el periodo analizado.

Finalmente, el **quinto módulo** evalúa el desempeño del sistema mediante el cálculo de una serie de indicadores:

- Número de roturas (cuenta la cantidad de roturas que se produjeron en el periodo de tiempo analizado).
- Rotación del stock (cociente entre el consumo durante un período, y el valor del inventario medio).
- Recuperación del servicio (días que tarda el sistema en poder a dar servicio otra vez luego de una rotura de stock).
- Nivel de cobertura (cociente entre el valor del inventario medio, y el valor del consumo medio durante un periodo).
- Nivel de stock medio (promedio de los niveles de stock registrados durante un periodo).
- Nivel de servicio (porcentaje de pedidos servidos sin roturas de stock en el periodo de análisis).

4.4. Mejora y validación del sistema experto

En primer lugar se realizó una prueba piloto con una base de datos construida en Excel específicamente para ello. Se crearon referencias con los diferentes patrones de demanda y se verificó que la clasificación de referencias funcionaba como era debido. Además se analizó el interfaz gráfico, y se definieron los gráficos de Demanda, Stock y Aprovisionamiento para visualizar mejor cómo se comportaba cada referencia (ver Figura 4.6). Se construyeron tablas de indicadores para poder monitorizar el rendimiento de sistema y el nivel de servicio al cliente. Luego, se realizaron tres casos para mejorar y validar el sistema experto desarrollado.

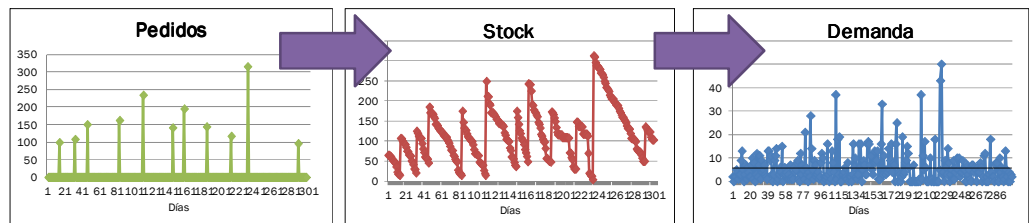


Figura 4.6 Gráficos de Demanda, Stock y Aprovisionamiento.

4.4.1. Caso 1: Distribuidor de bebidas

La herramienta desarrollada se testeó en una empresa ubicada en Vizcaya dedicada a la distribución regional de bebidas. Se buscaba cumplir de forma simultánea dos objetivos. El primero, mejorar el sistema experto desarrollado. El segundo, brindarle a la empresa una herramienta que les permitiera gestionar el inventario y el aprovisionamiento, sin depender de una única persona (como sucedía hasta el momento). El sistema experto recopilaría la experiencia del actual encargado, y la reforzaría con algoritmos de cálculo basados en datos históricos. Como resultado, se facilitaría su labor diaria, y además, si fuere necesario, otros operarios podrían participar en la gestión de inventarios y aprovisionamiento.

Para cumplir con dichos objetivos, la empresa proporcionó a los investigadores registros históricos de la demanda correspondiente a los años 2008 y 2009 de decenas de referencias, así como también información de los proveedores (lote mínimo, plazo y frecuencia de entrega).

Se comprobó con el encargado de stock y aprovisionamiento que los datos recopilados de las distintas bases de datos fuesen coherentes para poder ser utilizados como base del análisis de referencias. Luego, se cruzaron listados de datos en Excel y se alimentó con ellos al IRES.

La Figura 4.7 muestra las bases de datos utilizadas para el análisis.

Figura 4.7 Datos históricos 2008 - 2009

En primer lugar se ejecutó el primer módulo, clasificando las referencias según un criterio ABC/XYZ decidido con la empresa. Este criterio responde a la capacidad de la empresa para absorber los cambios y la estacionalidad de la demanda. Antes de proseguir con la ejecución del resto de módulos se validó con el encargado la clasificación ABC/XYZ cotejando sus conocimientos con los resultados del IRES. Luego se simularon diferentes métodos de previsión de la demanda, combinados con diversas estrategias de aprovisionamiento (módulos siguientes). Mediante el cálculo de indicadores, en el quinto módulo, se seleccionó la mejor forma de gestionar cada tipología de referencias buscando el máximo nivel de servicio ajustando los costes.

Una vez definida la estrategia de aprovisionamiento y el método de previsión de demanda más ajustado para cada tipología de referencia ABC/XYZ, se decidió semi-automatizar la gestión de stocks. En una primera etapa algunos artículos críticos seguirían siendo controlados manualmente, mientras que el resto de productos se gestionarían de acuerdo con los resultados del IRES.

Para las referencias de consumo regular se comprobó que un SRC según el consumo medio (CM) resulta adecuado para alcanzar el nivel de servicio deseado. Para las referencias de consumo más irregular, o bien con tendencia o estacionalidad, una política basada en la demanda media no era suficiente para lograr el nivel de servicio objetivo. Para estos artículos se sugirió la utilización del consumo pico (CP) para establecer los niveles de stock de seguridad y el punto de pedido. Cabe destacar

que las referencias CZ a pesar de su irregularidad, por tratarse de demandas pequeñas, respondían de forma adecuada a las políticas de aprovisionamiento y a los pronósticos basados en consumos medios.

Por otra parte, se seleccionaron los métodos de previsión con menor error. Para todos los casos el suavizado exponencial fue el método de pronóstico elegido, planteándose ciertas modificaciones en función de la clasificación XYZ:

- Para referencias X se basa en la previsión del CM.
- Para referencias Y se considera la tendencia y/o estacionalidad.
- Para referencias Z se basa en la previsión del CP.

El sistema experto supone una disminución en los niveles medios de stock para las referencias X, un aumento en el nivel de servicio brindado en artículos Z y una adecuación del stock de seguridad (SS) al momento del año (temporada alta o baja) para referencias Y. La Tabla 4.1 muestra de forma agregada las mejoras alcanzadas.

Tabla 4.1 Cambios propuestos en el nivel de SS para conseguir el nivel de servicio objetivo

Clasificación	AX BX CX	AY BY CY	AZ BZ CZ
SS temporada alta	-33%	+30%	+78%
SS temporada baja		-52%	

4.4.2. Oportunidades de mejora identificadas a partir del primer caso

Una vez identificados los beneficios del sistema, se ha realizado un análisis en profundidad del comportamiento de la demanda de los productos clasificados como Z, ya que generan las mayores complicaciones en sistemas que gestionan sus productos contra almacén. Se ha visto que, en este caso particular, para alcanzar el nivel de servicio objetivo era necesario un gran aumento del nivel de stock de seguridad. Esto puede indicar que para estas referencias es necesario modificar la estrategia de suministro, o bien si quisieran seguir siendo gestionadas contra stock será necesario definir una sub-clasificación para un tratamiento más ajustado.

Por tanto, se ha estratificado la categoría Z para diferenciar los comportamientos muy dispares que allí se englobaban, distinguiéndose 4 variantes (ver Tabla 4.2).

Tabla 4.2 Sub-clasificación de referencias Z

Nombre	Descripción
Z	Demanda irregular que se consume de manera continua
Z1	Demanda intermitente que se consume en momentos muy específicos (puntual)
Z2	Demanda intermitente que se consume en cantidades “constantes” cada periodos de tiempo regulares
Z3	Demanda intermitente donde las cantidades consumidas varían pero el tiempo entre ventas es regular

Para realizar la clasificación mencionada se definieron los siguientes parámetros:

- Frecuencia de consumo (Fc): Porcentaje de días en los que hubo consumo dentro de un periodo de tiempo. Mide la regularidad del consumo.
- Distancia entre consumos (Dc): Relacionado con el tiempo que pasa entre dos pedidos consecutivos, midiendo la intermitencia de la demanda. La desviación estándar de este parámetro mide la regularidad del consumo, o sea, si se realizan pedidos espaciados en el tiempo, pero con un determinado patrón o de manera totalmente irregular.
- $C_{p\text{mensual}}/C_{m\text{mensual}}$: Relación entre consumo pico y consumo medio con agregación mensual. Mide estacionalidad y tendencia.
- $C_{p\text{semanal}}/C_{m\text{semanal}}$: Relación entre consumo pico y consumo medio con agregación semanal. Mide regularidad y tendencia dentro del mes.

Con los cuatro parámetros mencionados se determina la clasificación XYZ propuesta, que identifica intermitencia, tendencia, estacionalidad e irregularidad.

- **Intermitencia.** Una demanda intermitente es aquella que posee intervalos significativos de demanda cero. Los datos se caracterizan por un bajo volumen, y este tipo de patrón de la demanda la presentan productos fabricados especialmente para un cliente específico o piezas de repuesto (Figura 4.8).



Figura 4.8 Intermitencia de la demanda

- **Tendencia**. Este es un patrón de comportamiento en el cual se distingue un movimiento suave de la serie a largo plazo. Se observa que los datos estudiados presentan preferencia elevarse o a disminuir a medida que transcurre el tiempo (Figura 4.9).

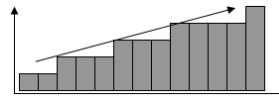


Figura 4.9 Tendencia de la demanda

- **Estacionalidad**. Una demanda estacional se da cuando el cliente demanda ciertos productos con mayor intensidad durante una época del año de manera repetitiva. Las causas de estacionalidad pueden estar influenciadas por el clima, los días festivos, etc. (Figura 4.10).

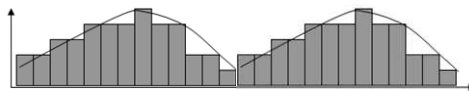


Figura 4.10 Ejemplo de estacionalidad de la demanda

- **Irregularidad**. Hay artículos cuya cantidad demandada varía mucho de un día al otro, pero de todas formas se consume regularmente. En estos casos se habla de una demanda irregular (Figura 4.11).

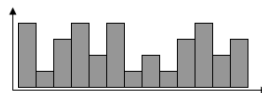
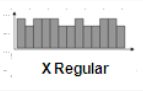
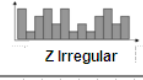
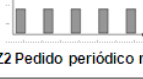



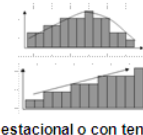


Figura 4.11 Ejemplo de irregularidad de la demanda

La Tabla 4.3 muestra como se clasifican las referencias según estos parámetros.

Tabla 4.3 Clasificación XYZ en función de los parámetros propuestos

$F_c \uparrow \quad D_c \downarrow \quad \text{desv}(D_c) \sim 0 \quad \frac{C_{psemanal}}{C_{msemanal}} \sim 1$	 <p>X Regular</p>
$F_c \uparrow \quad D_c \downarrow \quad \text{desv}(D_c) \sim 0 \quad \frac{C_{psemanal}}{C_{msemanal}} > 1$	 <p>Z Irregular</p>
$F_c \downarrow \quad D_c \uparrow \quad \text{desv}(D_c) \sim 0 \quad \frac{C_{psemanal}}{C_{msemanal}} \sim 1$	 <p>Z2 Pedido periódico regular</p>
$F_c \downarrow \quad D_c \uparrow \quad \text{desv}(D_c) \sim 0 \quad \frac{C_{psemanal}}{C_{msemanal}} > 1$	 <p>Z3 Pedido periódico irregular</p>
$F_c \downarrow \quad D_c \uparrow \quad \text{desv}(D_c) \uparrow \uparrow \quad \frac{C_{psemanal}}{C_{msemanal}} > 1$	 <p>Z1 Pedido puntual</p>
$F_c \uparrow \quad D_c \downarrow \quad \text{desv}(D_c) \sim 0$ $\frac{C_{psemanal}}{C_{msemanal}} \text{ (dentro del mes)} \gg 1$	 <p>Y tendencia dentro del mes</p>
$F_c \uparrow \quad D_c \downarrow \quad \text{desv}(D_c) \sim 0$ $\frac{C_{pmensual}}{C_{mmensual}} \gg 1$	 <p>Y estacional o con tendencia</p>

Adicionalmente se han sugerido dos nuevas estrategias de aprovisionamiento que presentan una alternativa a los sistemas de revisión continua y periódica. La primera es el sistema de revisión según salidas (SRS), donde se pide una cantidad igual al consumo medio cada vez que tiene lugar una venta. La segunda propuesta es un sistema de revisión según salidas modificado (SRS'), en el cual se aprovisiona una cantidad igual al consumo máximo registrado cada vez que tiene lugar una salida.

4.4.3. Caso 2: distribuidor de electrodomésticos

Una vez incorporadas a la primera versión de IRES las mejoras identificadas en el primer caso (ver apartado 4.4.2), se desarrolló **una segunda versión del sistema experto** que fue **validada en un segundo caso realizado en una plataforma de distribución regional ubicada en Aragón, más concretamente en la plataforma de una empresa dedicada a la fabricación de electrodomésticos de línea blanca y pequeños**

electrodomésticos. La empresa forma parte de un grupo europeo, líder a nivel mundial, que ha logrado unas ventas anuales que rondan los 8.000 millones de euros y posee una amplia cuota de mercado, ofreciendo diferentes gamas de productos, manejando una cantidad superior a las 2000 referencias. Además, es una compañía reconocida en el sector como puntera en temas de gestión de inventarios, desarrollando aplicaciones propias para perfeccionar esta tarea.

La Tabla 4.4 sintetiza la situación actual de la empresa y las mejoras esperadas al implantar el IRES.

Tabla 4.4 Resumen de situación actual y mejoras planteadas

Módulo	Situación actual	Mejoras planteadas por IRES
Clasificación de referencias	ABC/XYZ determinado por la cantidad consumida y la variabilidad de la demanda según la desviación estándar de la misma. Supuesto de normalidad que en algunas referencias no se cumple.	Nuevos criterios para clasificación ABC/XYZ que permiten identificar patrones de demanda mediante el cálculo de una serie de parámetros: (Fc, Dc, Cpsem/Cmsem, Cpmes/Cmmes).
Nivel de servicio y stock de seguridad	Dificultad para lograr la política de servicio y el nivel de stock necesario.	Cálculo del nivel de stock de seguridad necesario para alcanzar el nivel de servicio objetivo en base a simulaciones.
Previsión de demanda	Pronósticos con media móvil de los consumos medios de una cantidad preestablecida de periodos. Para referencias de consumo irregular basarse en la demanda media no es suficiente.	Elección entre diferentes métodos de previsión con distintos horizontes temporales. Pronóstico de la demanda pico para asegurar un nivel de servicio adecuado, con un menor nivel de error.
Estrategia de aprovisionamiento	Sobre-stock en artículos de consumo regular, y roturas en referencias de consumo intermitente o irregular. No se tiene un estrategia específica para tratar estas referencias ya que los patrones de demanda no se asocian a la política de aprovisionamiento.	Política de aprovisionamiento ligada a la estratificación de referencias ABC/XYZ, con nuevas estrategias para artículos irregulares o intermitentes y para aquellos de consumo regular. Con una caracterización adecuada sería posible una gestión semi automática.

En una primera instancia la empresa cedió a los investigadores registros históricos de demanda del año 2009 y de los dos primeros meses de 2010, así como de niveles de stock y de plazos y frecuencias de aprovisionamiento (Figura 4.12). Se verificó con el encargado de stock y aprovisionamiento que estos datos recopilados de las distintas bases de datos fuesen coherentes para poder ser utilizados como base del análisis de referencias.

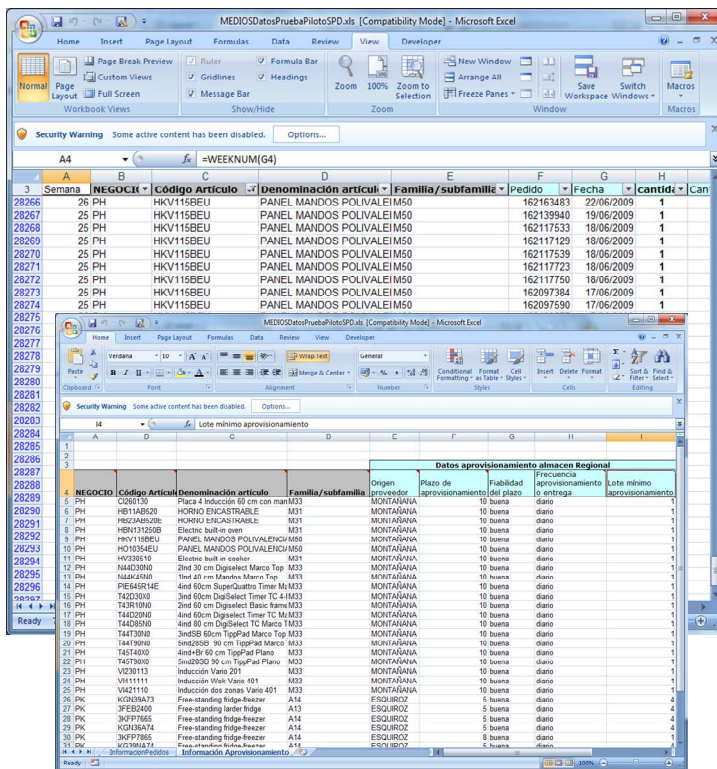


Figura 4.12 Datos históricos 2009 y principios 2010

Luego, se cruzaron varias hojas de datos en Excel y se alimentó con ellas al IRES. En primer lugar se ejecutó el primer módulo, clasificando las referencias según un criterio ABC/XYZ decidido con la empresa. Este criterio responde a la capacidad de la empresa para absorber los cambios de demanda y la estacionalidad de la demanda. Antes de proseguir a la ejecución del resto de módulos se validó con el encargado de la clasificación ABC/XYZ cotejando sus conocimientos con los resultados del IRES. Más tarde, se simularon diferentes métodos de previsión de la demanda, combinados con

diversas estrategias de aprovisionamiento (módulos siguientes). Para seleccionar la mejor política de aprovisionamiento se analizaron los indicadores de desempeño definidos en el quinto módulo. A modo de ejemplo en la Figura 4.13 se observa el comportamiento de una referencia BZ si se utiliza un SRC basado en consumos medios, mientras que en la Figura 4.14 se emplea un SRC según consumos pico.

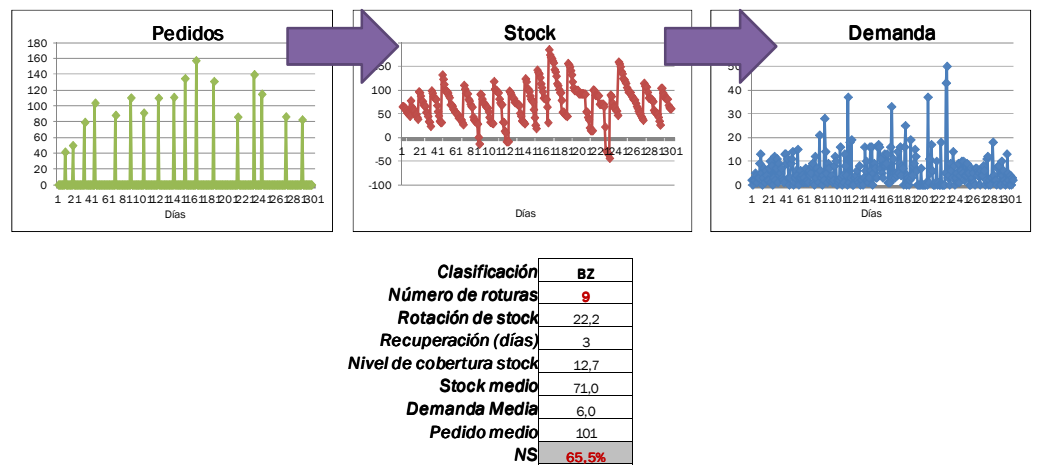


Figura 4.13 Comportamiento de una referencia BZ si se utiliza un SRC basado en consumos medios

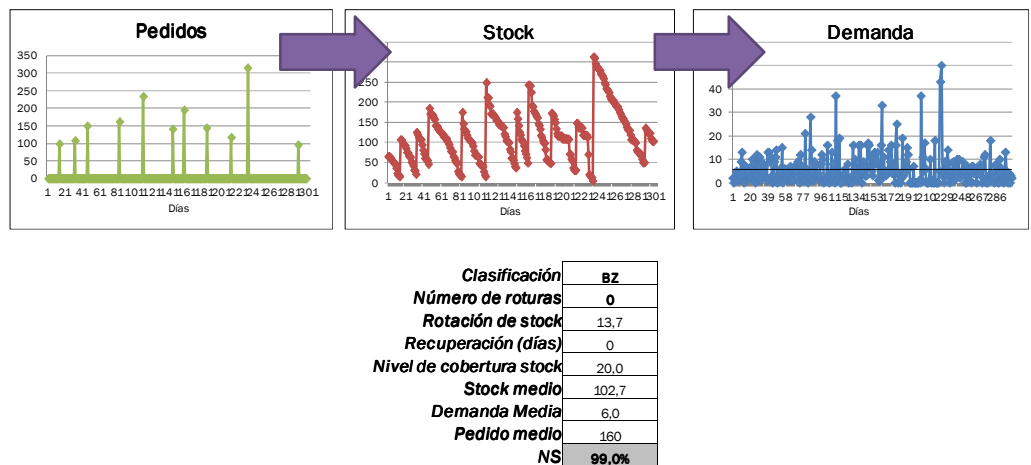


Figura 4.14 Comportamiento de una referencia BZ si se utiliza un SRC basado en consumos pico

Una vez definida la estrategia de aprovisionamiento y el método de previsión de demanda más ajustado para cada tipología de referencia ABC/XYZ, se decidió semi-automatizar la gestión de stocks. En una primera etapa algunos artículos críticos seguirían siendo controlados manualmente, mientras que el resto de productos se gestionarían de acuerdo con los resultados del IRES.

Se han identificado los beneficios que proporciona el sistema experto en la empresa y se ha verificado que las mejoras que se incorporaron a la herramienta después del primer caso son de utilidad. Es importante señalar que en el ámbito empresarial no es común el uso de los consumos pico para la definición de las políticas de reaprovisionamiento (Errasti. 2009). Sin embargo, contemplar estos máximos puede ser útil para la gestión de artículos que se consumen de manera irregular, donde la demanda media no refleja el comportamiento real de las salidas. La empresa no ha permitido que se publiquen datos numéricos de stock o servicio, por lo que los resultados más significativos se sintetizan cualitativamente (Tabla 4.5). **La valoración de la herramienta por parte de los responsables de la plataforma de distribución de electrodomésticos ha sido muy favorable.**

Tabla 4.5 Resultados más significativos de la comparación de estrategias de aprovisionamiento

<p>Con una estrategia basada en consumos medios se lograron cero roturas manteniendo una cobertura de stock que no superaba las dos semanas y una elevada rotación. El nivel de stock medio resultó similar para todas las estrategias.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> <th>Z1</th> <th>Z2</th> <th>Z3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A</th> <td>○</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>B</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>C</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		X	Y	Z	Z1	Z2	Z3	A	○						B							C						
	X	Y	Z	Z1	Z2	Z3																							
A	○																												
B																													
C																													
<p>Con una estrategia que contempla la estacionalidad se logró una reducción de las roturas con respecto a otras políticas, adecuando el stock a la época del año. La estrategia elegida presentó una rotación de stock más elevada que el resto de las políticas.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> <th>Z1</th> <th>Z2</th> <th>Z3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A</th> <td></td> <td>○</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>B</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>C</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		X	Y	Z	Z1	Z2	Z3	A		○					B							C						
	X	Y	Z	Z1	Z2	Z3																							
A		○																											
B																													
C																													
<p>Con una estrategia basada en consumos pico se redujeron a cero las roturas manteniendo una cobertura de stock de dos veces el plazo de entrega aproximadamente.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> <th>Z1</th> <th>Z2</th> <th>Z3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>B</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>C</th> <td></td> <td></td> <td>○</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		X	Y	Z	Z1	Z2	Z3	A							B							C			○			
	X	Y	Z	Z1	Z2	Z3																							
A																													
B																													
C			○																										
<p>Con una estrategia según salidas se lograron cero roturas. Si bien con una estrategia basada en consumos picos también brindaba un excelente nivel de servicio, el stock medio y el nivel de cobertura superaban el doble del valor que estos indicadores alcanzaban con la política seleccionada.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> <th>Z1</th> <th>Z2</th> <th>Z3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>B</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>C</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>○</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		X	Y	Z	Z1	Z2	Z3	A							B							C					○	
	X	Y	Z	Z1	Z2	Z3																							
A																													
B																													
C					○																								
<p>En este caso se recomienda identificar posibles causas extraordinarias que pudieron generar una demanda puntual, ya que las mismas no presentan ningún patrón de comportamiento. Con inteligencia de mercado se podría lograr servir estos consumos sin necesidad de una cobertura de stock elevada.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> <th>Z1</th> <th>Z2</th> <th>Z3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>B</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>C</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>○</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		X	Y	Z	Z1	Z2	Z3	A							B							C					○	
	X	Y	Z	Z1	Z2	Z3																							
A																													
B																													
C					○																								

En la Tabla 4.6, se ven las políticas de aprovisionamiento sugeridas para cada clase ABC/XYZ y los métodos de previsión que generaron menor error en cada caso.

Tabla 4.6 Estrategias de aprovisionamiento y métodos de previsión de demanda (ABC/XYZ)

Tipología de referencia - Aprovisionamiento y Previsión	X: Regular	Y: estacionalidad (S)	Y: tendencia (T)	Z: Irregular	Intermittente					
					Z1	Z2	Z3			
A: Alto	Estrategia de aprovisionamiento	PP basado en el pronóstico del consumo medio. SS según curvas STS	PP según pronóstico desestacionalizado del consumo medio. SS estacional	PP según pronóstico del consumo medio. SS con tendencia	PP basado en el pronóstico del consumo pico. SS según consumo pico	Suavizado exponencial con factor de lissaje mayor a 0,3	?	?	?	
										Mejor método de previsión
B: Medio	Estrategia de aprovisionamiento	PP basado en el pronóstico del consumo medio. SS según curvas STS	PP según pronóstico desestacionalizado del consumo medio. SS estacional	PP según pronóstico del consumo medio. SS con tendencia	PP basado en el pronóstico del consumo pico. SS según consumo pico	Suavizado exponencial con factor de lissaje mayor a 0,3	?	?	?	
										Mejor método de previsión
C: Bajo	Estrategia de aprovisionamiento	PP basado en el pronóstico del consumo medio. SS según curvas STS	PP según pronóstico desestacionalizado del consumo medio. SS estacional	PP según pronóstico del consumo medio. SS con tendencia	PP basado en el pronóstico del consumo pico. SS según consumo pico	Suavizado exponencial con factor de lissaje 0,1	Suavizado exponencial o media aritmética	Identificar Outlier	Se repone Qmed al producirse una salida. SS=0	Se repone hasta Qmax al producirse una salida. SS=0

4.4.4. Caso 3: Fabricante de componentes electrónicos

Un tercer caso fue realizado en una empresa fabricante de componentes (TIER 2), del sector electrónico con tres plantas productivas localizadas en América, Asia y Europa respectivamente. La planta europea se encuentra ubicada en Guipúzcoa, y tiene como clientes a fábricas principales (OEMs) de diversos sectores: automoción, electrodomésticos, bienes de uso, eólico, entre otros. La estrategia internacional y la heterogeneidad de sus clientes, hace a esta empresa un caso interesante para testear la importancia de integrar las funciones logísticas, dimensionando adecuadamente el almacén y coordinando los aprovisionamientos para poder asegurar un buen nivel de servicio. Los principales objetivos de la empresa eran el aumento de las rotaciones y del nivel de servicio, principalmente para los dos clientes mayoritarios.

En este caso era necesario ir más allá y ayudar a la empresa a determinar la estrategia de suministro tanto de materias primas como de producto terminado.

Si bien la aplicación del IRES ha sido posterior y su implementación aún está siendo evaluada, **este caso ha servido para demostrar que existen algunos pasos previos a la utilización del sistema experto que ayudan a que sus resultados sean más eficientes.**

En una primera instancia la empresa ofreció a los investigadores registros históricos de demanda de producto terminado del año 2011, así como de niveles de stock, de plazos y frecuencias de aprovisionamiento, MOQ (Cantidad Mínima de Pedido o *Minimum Order Quantity*), costes de inmovilizado, entre otros. Las estructuras de los productos terminados también fueron facilitadas para poder determinar la demanda de materias primas. La recolección de datos se ha centrado en el cliente principal (mayor parte de la producción), ya que debido a los actuales términos contractuales y nivel de servicio deseado, las rotaciones de stock eran insuficientes para los objetivos de la empresa.

Se comprobó con el encargado de stock y aprovisionamiento que los datos recopilados de las distintas bases de datos fuesen coherentes para poder ser utilizados como base del análisis de referencias. En este caso fue necesario realizar la recolección de datos reiteradas veces, ya que al cruzar ciertas bases de datos se perdía información importante. Finalmente se logró un único archivo con todos los datos necesarios para el análisis.

El análisis se realizó haciendo una diferenciación entre gestión de stocks de producto terminado y gestión de materiales, aunque siempre manteniendo una visión global del negocio para evitar que la mejora de un subsistema perjudicara el rendimiento de toda la empresa. En la primera etapa del proyecto se buscó definir qué estrategia de suministro era la más idónea para cada material y componente. Para ello, se compararon dos estrategias: MTS (entrega contra stock), MTO (entrega contra pedido).

- **Gestión de stock de producto terminado**

Este cliente consume una gama de 60 productos terminados, actualmente gestionados contra stock (MTS). En primer lugar, se realizó una clasificación de estos productos según un ABC de valor y otro de volumen. El principal objetivo de esta categorización era poder seleccionar la estrategia de producción/suministro más adecuada para cada producto, aumentando las rotaciones y reduciendo el sobre-stock y, con él, el riesgo de obsolescencia. Para un análisis más preciso, ambas clasificaciones fueron sub-divididas, agrupando los productos en: AAA (20%), AA (20%), A (40%), B (15%), y C (5%).

Se realizaron diversas simulaciones, modificando los lotes de producción, y analizando la posibilidad de no trabajar contra stock para reducir el coste de inmovilizado. Para cada uno de los productos terminados se simularon diferentes escenarios utilizando los datos históricos del año 2011, analizando qué rendimientos se hubiesen alcanzado de haber empleado una estrategia de producción/suministro diferente. Este rendimiento se midió en base a: (1) el stock medio, (2) el número de órdenes de producción a lo largo del año, (3) las roturas de stock, (4) las rotaciones y (5) la cobertura. El objetivo era reducir el nivel de stock medio, aumentando las rotaciones. Las roturas son un indicador del nivel de servicio que se está brindando al cliente y las órdenes de producción representan el coste de fabricación de un producto. Cada vez que se envía una orden de producción hay un coste unitario por producto fabricado, pero adicionalmente hay un coste de set up asociado que es proporcional al número de órdenes de fabricación que se soliciten. Por este motivo, para analizar las ventajas de una estrategia de producción/suministro frente a otra, se analizó el ahorro en stock en relación con el aumento de los costes de fabricación.

La Figura 4.15 muestra un ejemplo de estas simulaciones.

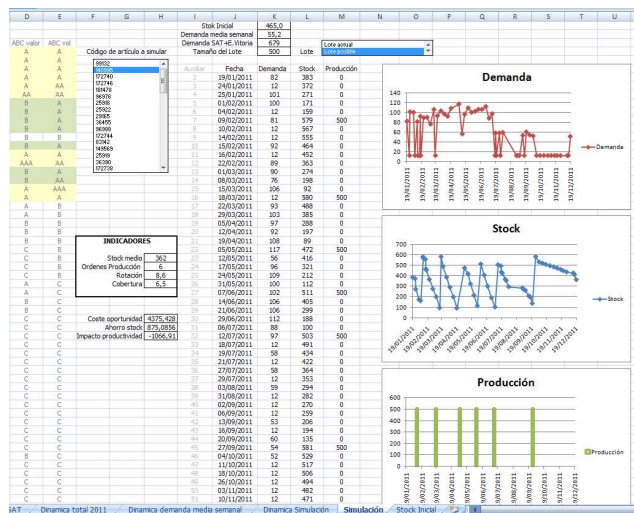


Figura 4.15 Ejemplo de simulaciones realizadas para definir estrategia de producción/suministro

Una vez simulados los diferentes escenarios, se sugirieron para cada categoría de producto diferentes estrategias, que se sintetizan en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7 Estrategias y beneficios para cada categoría de producto terminado

Categoría de producto	Estrategia de producción/suministro sugerida	Beneficios
Mucho volumen (AAA, AA, and A) y caras (AAA, AA, A, and B)	Reducción del lote de producción ¹	Evitar costes de inventario altos, manteniendo el nivel de servicio
Volumen medio (B) y todos los precios	Fabricación de lotes agrupados	Ganar eficiencia, manteniendo el nivel de servicio
Bajo volumen (C) y bajo precio (C)	(a) Reducción del lote de producción (b) Adopción de una estrategia MTO ²	Evitar costes de inventario altos, manteniendo el nivel de servicio

¹ Esta estrategia fue sugerida cuando la reducción de costes de stock justificaba el aumento de costes de producción.

² Adoptar esta estrategia está sujeto a la fiabilidad del plazo de entrega de los diferentes proveedores. Hay que tener presente que sistemas de producción internacionales, los tiempos de entrega elevados y la falta de fiabilidad suelen ser comunes.

- **Gestión de stock de materias primas**

En segundo lugar se analizaron los más de 800 códigos diferentes de materias primas que se gestionaban contra stock en base a previsiones de demanda debido a los largos plazos de entrega. Las referencias en este caso fueron clasificadas según familias, ya que se observó que de las 79 familias existentes, solamente 5 representan el 75% de la compra total. Estas 5 familias se consideraron estratégicas por lo que se analizaron con mayor grado de detalle. Finalmente se recomendaron 4 palancas para mejorar la gestión de estas familias estratégicas. Para el resto de familias se sugirieron dos estrategias en función del volumen y el valor de compra (ver Tabla 4.8).

Tabla 4.8 Estrategias y beneficios para cada categoría de materias primas

Categoría de referencias	Estrategia de producción/suministro sugerida	Beneficios
Familias estratégicas	(a) Stock almacenado en la empresa pero perteneciente al proveedor (b) Stock almacenado en el proveedor (c) Reducir la cantidad mínima de pedido (MOQ) (d) Órdenes de compra proporcionales al múltiplo de embalaje unit ¹	Aumentar las rotaciones y asegurar un nivel de servicio elevado
Volumen Medio / Precio Medio	Mantener la actual estrategia de aprovisionamiento basada en pronósticos	Mantener eficiencia y nivel de servicio
Volumen Bajo / Precio Bajo	Adoptar una estrategia de suministro basada en un punto de pedido	Aumentar las rotaciones y asegurar un nivel de servicio elevado

¹ Esta estrategia es sugerida siempre y cuando no se pueda reducir el MOQ.

Una vez definida la estrategia de suministro se realizó un plan para la implantación. Las negociaciones con algunos proveedores han sido positivas, mientras que con otros aún se están modificando las condiciones contractuales.

Si bien aún no es posible evaluar los resultados de la implantación, de las simulaciones y otros cálculos internos realizados junto con los encargados de compras y producción pueden intuirse los beneficios que se obtendrán al modificar las estrategias de suministro (ver Tablas 4.7 y 4.8).

Para todas aquellas referencias que serán suministradas contra stock se implantará el IRES para apoyar su gestión. En esta etapa, se ha visto el potencial que tiene la herramienta para mejorar la precisión de los pronósticos de demanda y para sugerir estrategias de aprovisionamiento adecuadas para cada tipología ABC/XYZ. De momento, utiliza un software comercial muy básico, y a pesar que poseen una herramienta avanzada y costosa para la gestión de stocks, no han podido instalarla por su alta complejidad.

Algunas pruebas realizadas con referencias estratégicas han demostrado que el IRES sería una herramienta útil para reforzar la gestión de las funciones logísticas y para dimensionar correctamente el stock tanto de producto terminado como de materias primas.

4.5. Desarrollo informático ULMA

Una vez comprobado el potencial del IRES, se ha llevado a cabo un desarrollo informático que permitirá su incorporación en el sistema de gestión de almacenes de la empresa. Dicho desarrollo se ha realizado en colaboración con un equipo de ULMA Handling y el proceso ha llevado 12 meses de trabajo.

Se realizaron reuniones para fijar el alcance del proyecto, el proceso de seguimiento y validación de los algoritmos empleados. La interface gráfica también fue diseñada durante estas reuniones.

Se elaboró un plan de implantación del sistema comercial, y además se determinó la periodicidad con la que se deben analizar los parámetros fijados por el usuario para poner en funcionamiento los 5 módulos (ver Figura 4.16).

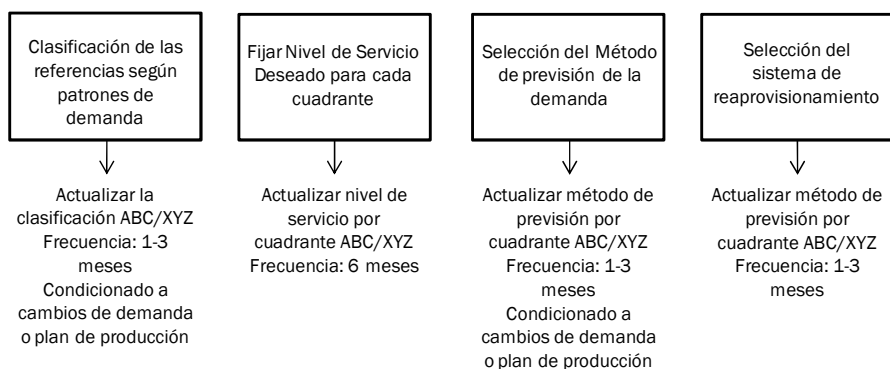


Figura 4.16 Periodicidad de ajuste de cada módulo

Toda la información, que en un principio se tenía en documentos de texto y en hojas de cálculo tuvo que ser traducida a diagramas de flujo y a relaciones entre valores de entrada y salida. Todas las fuentes de dónde recoger la información debieron ser identificadas (ver Figuras 4.17, 4.18, 4.19, y 4.20).

Se testeó cada módulo, verificando que las hojas de cálculo originales arrojaban los mismos resultados que los nuevos algoritmos. Se analizaron las diferencias encontradas, corrigiéndolas e identificando casos límite que fueron programados de manera diferenciada.

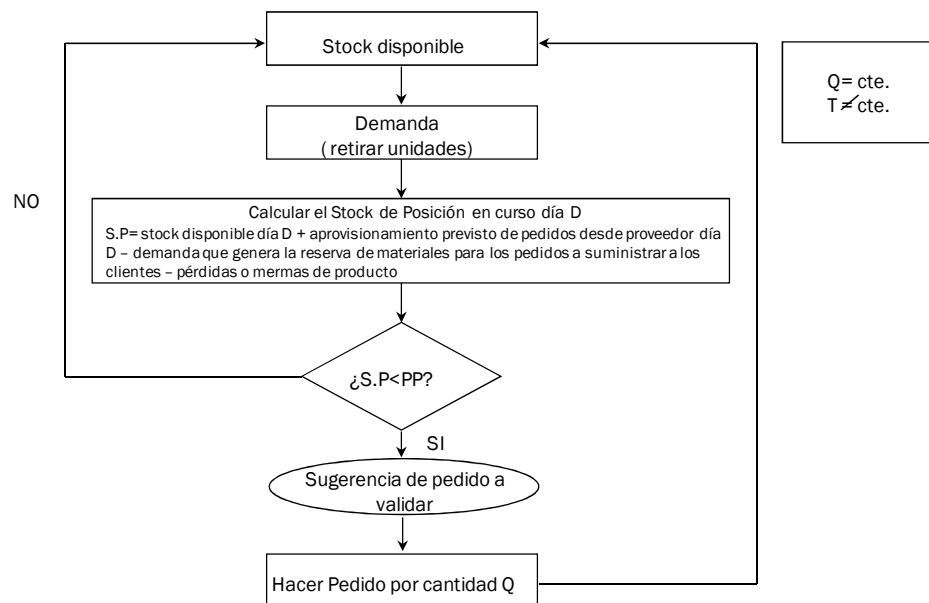


Figura 4.17 Diagrama de flujo del SRC

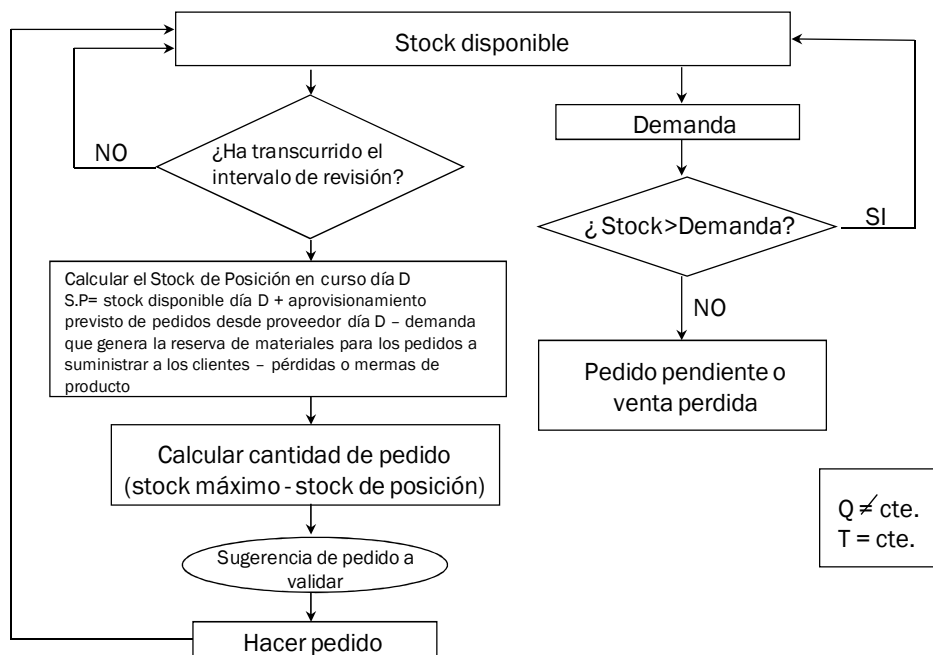
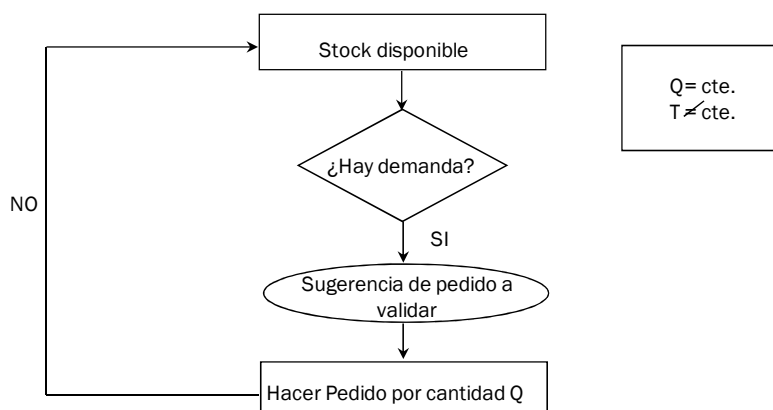


Figura 4.18 Diagrama de flujo del SRP



Nota: En estos sistemas, la cantidad demanda Q es constante e igual a la cantidad pedida al proveedor. Por lo que cada vez que se produce una salida S.P=0

Figura 4.19 Diagrama de flujo del SRS

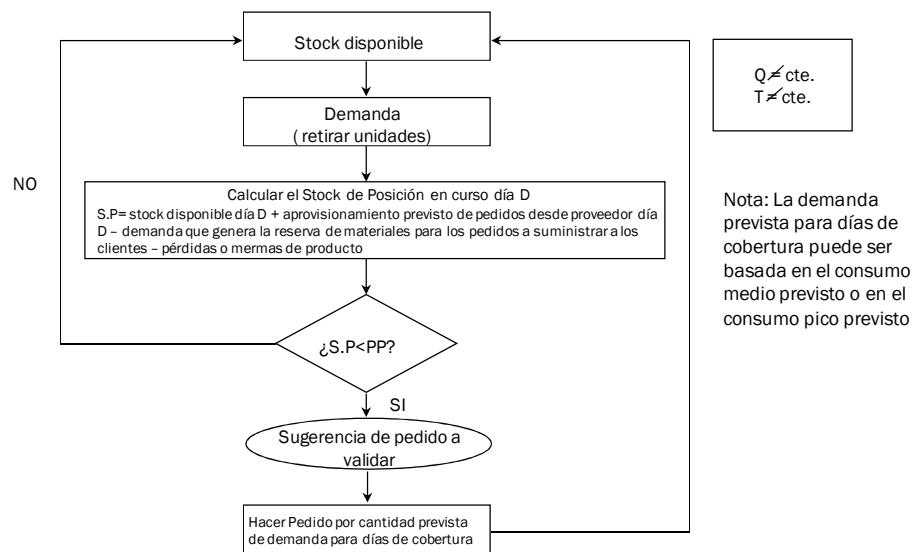


Figura 4.20 Diagrama de flujo del SRC híbrido

Finalmente se ha terminado el desarrollo informático del IRES, formando parte de los productos comercializados por ULMA Handling Systems. A continuación, en la Figura 4.21, se enseñan tres pantallas de la interface gráfica del IK IRES (nombre comercial).

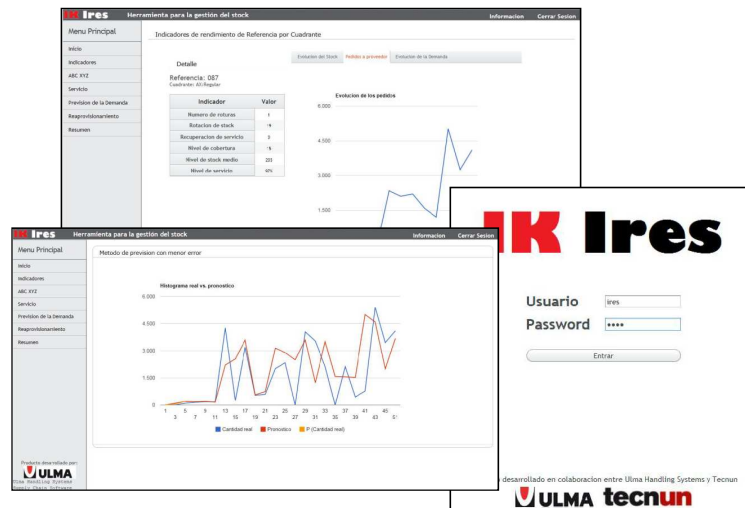


Figura 4.21 Pantallas del IRES en versión comercializable.

4.6. Conclusiones

Se ha desarrollado una herramienta que apoya el dimensionamiento del almacén y el diseño de las funciones logísticas, denominada IRES por sus siglas en inglés (*Inventory Replenishment Expert System*). **El IRES es el primer resultado obtenido en esta tesis doctoral (R1), el cual contribuye al cumplimiento del primer objetivo planteado (O1).**

Esta herramienta permite al diseñador conocer a priori la capacidad que debería tener el almacén si se quiere alcanzar el nivel de servicio objetivo con las estrategias de suministro definidas. **Uno de los resultados obtenidos tras la aplicación de la herramienta es el dimensionamiento del almacén para dar respuesta a las exigencias de los clientes, contemplando los patrones de la demanda y racionalizando los costes destinados a material inmovilizado.** Esta herramienta puede utilizarse en el proceso de diseño (etapa en la que se centra esta tesis doctoral), pero también puede utilizarse en la operativa diaria.

Se han comprobado las ventajas que proporciona el IRES a la gestión de las funciones logísticas de gestión de la demanda, planificación del servicio, planificación del stock y planificación del aprovisionamiento. Se llevaron a cabo dos casos en plataformas de distribución regionales pertenecientes al sector bebidas y electrodomésticos respectivamente con el fin de testear y validar la herramienta. Se puede concluir que ha resultado de utilidad para el planificador, debido a que permite la gestión semi-automatizada de los artículos.

Además, la clasificación ABC/XYZ de referencias propuesta permite contemplar patrones de la demanda como estacionalidad, tendencia, irregularidad e intermitencia, caracterizando así de manera ajustada los productos, y permitiendo la selección del método de previsión y la estrategia de aprovisionamiento que mejor se adapta al comportamiento de cada clase.

Se ha realizado un tercer caso de investigación que, a pesar de no haberse implementado aún el sistema experto, ha permitido identificar que algunos pasos previos a la utilización del sistema experto ayudan a que sus resultados sean más eficientes. Si la estrategia de suministro no está correctamente definida antes de la utilización del IRES, el nivel de stock y las rotaciones obtenidos para brindar un adecuado nivel de servicio representarán un coste elevado.

Algunas pruebas realizadas con referencias estratégicas en este tercer caso han demostrado que el IRES sería una herramienta útil para reforzar la gestión de las funciones logísticas y para dimensionar correctamente el stock tanto de producto terminado como de materias primas, cuando la estrategia de suministro es adecuada.

Finalmente se ha llevado a cabo el desarrollo informático del IRES, programándolo en un lenguaje compatible con un software de gestión de almacenes comercial, con el principal fin de lograr la transferencia a las empresas de la contribución científica realizada.

Capítulo 5.

Diseño de los principales procesos con flujo de material en almacenes

En este capítulo, se presentan los factores y las principales alternativas de diseño de los procesos de flujo de material en almacenes propuestas por los investigadores especializados en el tema, tanto en congresos internacionales como en revistas científicas, publicadas entre 1983 y 2012. Los factores de diseño que se muestran para los distintos procesos de flujo de material están relacionados con el nivel tecnológico, las características del sistema y las formas organizativas operativas.

Las alternativas para dichos factores de diseño se sintetizan en una nueva herramienta de análisis y visualización creada para configurar y seleccionar un número reducido de alternativas. Es el Diagrama de estrellas, segundo resultado de esta tesis (R2) que contribuye al cumplimiento del segundo objetivo planteado (O2).

5.1. Alternativas de diseño para los principales procesos con flujo de material desempeñados dentro del almacén

Durante el desarrollo de esta investigación se fueron consultando y ordenando de distintas formas los factores y las alternativas del diseño para los principales procesos. Finalmente se optó por una distribución en forma de estrella.

La idea de reestructurar los factores y alternativas de este modo surgió a raíz del esquema *Complejidad de los sistemas de preparación de pedidos* presentada por De Koster en base al trabajo de Goetschalckx y Ashayeri (Goetschalckx and Ashayeri. 1989, De Koster et al. 2007). En el mismo se presentan las alternativas de diseño del proceso de preparación en una estrella, en la que cada rama es un factor que incluye tanto características del sistema como formas organizativas para realizar este proceso. La nueva herramienta de análisis y visualización creada para asistir la toma de decisiones durante el proceso de diseño incluye las alternativas de diseño para los cinco procesos de flujo de material y los factores de diseño a considerar, incorporando a su vez las formas organizativas y tecnológicas empleadas hoy en día.

Para facilitar la comprensión y lectura de este apartado todas las alternativas de diseño recogidas serán explicadas siguiendo la lógica del diagrama de estrellas, que se detalla en el apartado 5.2.

La estructura de este capítulo por lo tanto, se dividirá según proceso (recepción, ubicación, almacenaje, preparación y expedición), distinguiendo también aquellos factores de diseño y alternativas de carácter organizativo (operativas) de aquellas vinculadas con el sistema físico o con el nivel tecnológico empleado.

5.1.1. Recepción

La recepción incluye la descarga del camión, el control de cantidades según el pedido, el control de la calidad del producto y la actualización del registro del inventario. Si esta actividad no se realiza correctamente, se corre el riesgo de cometer errores en todos los procesos posteriores, impactando de manera negativa en la calidad de los pedidos (Frazelle. 2002b, Tompkins et al. 2010).

- **Gestión de stocks**

En el capítulo 1 se mencionó que el término *almacén* se utiliza cuando la función principal es la de almacenar o depositar materiales. Por lo tanto, en los almacenes la mayoría de los productos son gestionados con inventario o stock. Sin embargo, algunos autores como Frazelle y Tompkins sugieren unos principios que, reduciendo o eliminado el tiempo en que los productos permanecen almacenados, mejoran el rendimiento en la recepción, minimizan el trabajo y los errores y hacen llegar más rápidamente el producto al cliente final (Frazelle. 2002b, Tompkins et al. 2010).

El primero de estos principios es el envío directo del material, evitando el tránsito por el almacén. En este caso, se prescinde de la recepción, la ubicación, el almacenaje, la preparación, y la expedición. Sin embargo, esto es apropiado en escasas ocasiones como, por ejemplo, para pedidos suministrados contrapedido del proveedor que soporten el coste del transporte directo, para conjuntos de productos cuyo envío regular suponga en volumen un camión completo, o para cargas difíciles de manipular.

Si el envío directo no es posible, el segundo principio a ser implementado es la reexpedición o cross-docking. En este caso, el material sí llega al almacén, pero se eliminan la ubicación, el almacenaje y la preparación. Para que este principio de recepción de material pueda ser aplicado con éxito, se recomienda que los productos sean de muy alta rotación con frecuencias de servicio elevadas, o para productos de muy baja rotación suministrados de forma centralizada. Existen dos variantes: cross-docking por pedido o por artículo (ver Tabla 5.1).

Tabla 5.1 Variantes de cross-docking

Por pedido	El proveedor realiza la preparación, y el almacén simplemente verifica el pedido en la recepción y le asigna un muelle de expedición. Se conocen como operaciones de muelle a muelle sin necesidad de manipulación.
Por artículo	El proveedor envía los artículos en las cantidades adecuadas, pero sin una clasificación previa por pedidos o clientes. Es por este motivo, exige una preparación en el almacén, la cual se lleva a cabo generalmente en la playa de recepción o expedición.

El principal objetivo de la aplicación de estos dos principios es la eliminación de uno de los procesos con flujo de material más costosos: el almacenaje. Realmente, en ciertos casos es necesario ubicar y preparar el producto, pero para que un flujo sea considerado de cross-docking, el almacenaje no suele durar más de 24 horas (Bartholdi, 2003). El flujo en un proceso de cross-docking puede seguir diferentes formas a lo largo del almacén. Bartholdi muestra cómo el mejor recorrido que pueden seguir los productos de cross-docking no es siempre el mismo, sino que depende del tamaño del almacén y del recorrido del resto de los flujos de materiales.

- **Recepción lógica**

La recepción lógica es la entrada del material al sistema informático del almacén. Ésta puede realizarse de cuatro diferentes maneras.

1. Entrada de forma manual, donde el operario recepciona los productos, y les da entrada al sistema en base al *packing list*.
2. Lectura manual, donde la actuación del operario es asistida mediante algún tipo de tecnología.
3. Lectura mecanizada utilizando arcos, lo cual reduce la necesidad de personal que realice la tarea.
4. Pre-recepción, donde el proveedor envía junto con el material la documentación asociada a la entrega de manera electrónica.

Este último es otro de los principios mencionados por Frazelle y Tompkins para minimizan el trabajo, los errores y el tiempo (Frazelle. 2002b, Tompkins et al. 2010).

- **Recepción física**

La recepción física hace referencia a la forma en que el operario descarga el material del camión. Principalmente pueden darse tres alternativas: descarga fácil (muelle de recepción a la altura del camión), operario a producto (la descarga se realiza con equipos de manutención que requieren la intervención humana), o producto a operario (la descarga se realiza mecanizada mediante cintas o rodillos) (Errasti. 2011).

- **Nivel de subcontratación**

El proceso de recepción física pueden realizarlo diferentes agentes. En primer lugar, puede realizarlo un operario subcontratado externo al almacén, el cual por ejemplo podría pertenecer a un operador logístico. En segundo lugar, la descarga podría realizarla el mismo transportista que trae el material desde el proveedor. Finalmente, un operario interno del almacén podría ser quien realice la recepción, bien con equipos de mantenimiento propios o alquilados.

- **Nivel Tecnológico**

El apoyo tecnológico con que cuente el proceso lo hará más ágil y permitirá que la recepción física y la lógica se realicen a la par. En este aspecto García menciona dos tecnologías útiles para la lectura e identificación de artículos: el código de barras y la radio frecuencia o RFID (García et al. 2006). Según García, adoptar una de estas tecnologías significa para muchos almacenes una importante ventaja competitiva. En particular, estas tecnologías facilitan la recogida, almacenaje y procesamiento de la información, logrando una mayor visibilidad del stock, eliminando errores y aumentando la velocidad de los proceso de flujo de material (Jiménez Fuentes. 2012).

Hoy en día un código de barras de un producto se lee en distintos puntos de las cadenas de suministro y distribución recogiendo información en nodos determinados.

La aplicación básica de RFID trata de sustituir las etiquetas de códigos de barras, que requieren una lectura activa, por una etiqueta con un dispositivo inalámbrico que puede registrar el movimiento de los productos a lo largo de todos los procesos con flujo de material (Errasti. 2011). El RFID se presenta con las siguientes ventajas frente al código de barras:

1. Puede realizarse en un perímetro, sin requiere de lectura directa.
2. Permite la lectura continua.
3. Permite la lectura simultánea acelerando los procesos logísticos.

Hay cuatro componentes clave en la tecnología RFID (ver Figura 5.1).

1. La etiqueta de identificación: Son pequeños chips con una antena que pueden almacenar cantidades limitadas de información. Cuando las etiquetas entran en contacto con las señales electromagnéticas de un escáner RFID envían los datos al escáner. La identificación puede hacerse tanto a nivel de unidad de almacenamiento como a nivel de artículo según la funcionalidad requerida. Hay dos tipos principales de etiquetas RFID: pasivas y activas. Las activas disponen de batería interna, mientras que las pasivas obtienen la señal externa y utiliza dicha energía para transmitir la respuesta.
2. Los escáneres: Son dispositivos que envían señales electromagnéticas a las etiquetas y reciben los datos almacenados en las etiquetas.
3. El software: Una vez que la etiqueta es leída por el escáner, se busca en una base de datos en la que esté almacenada toda la información de un producto (fecha envasado, fecha caducidad, número de lote, etc.) y del proceso logístico (repcionado, en stock, en preparación o expedido).
4. Las redes: La información almacenada en los sistemas de gestión de almacenes (SGA) se integra a través de redes telemáticas con los software de gestión (ERP) de fabricantes, almacenes y tiendas.

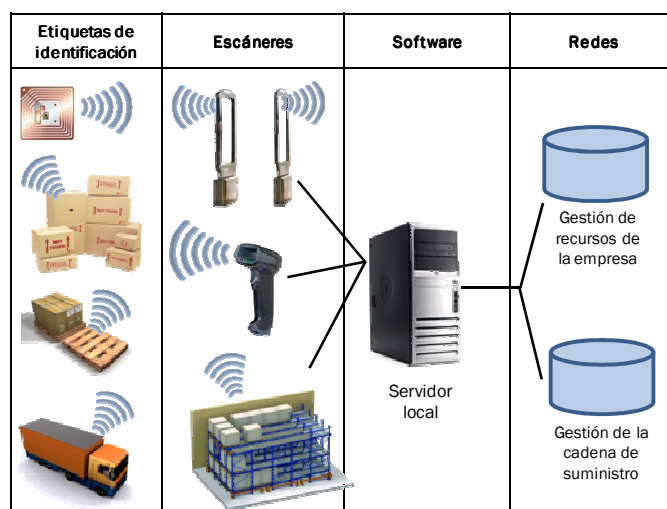


Figura 5.1 Componentes del sistema RFID

5.1.2. Ubicación

La ubicación incluye el traslado interno, la localización de la ubicación, la verificación y el posicionamiento del producto. Si existiese una discrepancia entre las unidades de recepción y de almacenaje, podría ser necesario un acondicionamiento previo de los productos, haciendo este proceso más complejo e intensivo en recursos (Frazelle. 2002b, Tompkins et al. 2010).

- **Nivel de automatización**

El nivel de automatización es compartido por los procesos de ubicación, almacenaje y preparación. Una descripción de este aspecto se detalla en el proceso de preparación de pedidos.

- **Definición de rutas o Ruteo**

Existen diferentes formas de realizar las rutas dentro del almacén para ubicar los productos recepcionados. Dichas formas son las mismas que las que se emplean para la preparación de pedidos, y se encuentran explicadas para ese proceso.

- **SKUs**

Las SKUs son las unidades de almacenaje (Stock Keeping Units). La heterogeneidad entre las SKUs recepcionadas y las almacenadas, puede generar la necesidad de un acondicionamiento de los productos previo a la ubicación (Frazelle. 2002b, Errasti. 2011). Los tipos de SKUs serán detallados en el proceso de almacenaje.

- **Equipo de manutención**

El movimiento o manipulación de la mercancía desde los puntos de recepción hasta su ubicación y, desde ésta a la expedición, se conoce como manutención (Mecalux. 2010). Los equipos de manutención son uno de los tres elementos básicos del flujo de materiales en almacenes. Son la parte responsable de asistir al personal para mover los productos en sistemas con intervención humana, o son los

encargados de moverlos de forma automática en sistemas robotizados. Existen diferentes tipos de equipos, que se clasifican en manuales, eléctricos y automáticos. Estos tipos de equipos serán explicados en el proceso de preparación de pedidos.

- **Principios de ubicación**

Los principios de ubicación pretenden mejorar el flujo de materiales, simplificándolo y reduciendo el contenido del trabajo, los errores y el tiempo. Según Frazelle existen cuatro principios que pueden ser consideradas mejores prácticas (Frazelle. 2002b): Ubicación directa, dirigida, agrupada o nivelada. Tanto la ubicación agrupada como la nivelada se detallarán cuando se describan los procesos combinados. La ubicación directa elimina las actividades de inspección, exigiendo un nivel de calidad al proveedor. Normalmente se cuenta con tecnología de identificación, para realizar de forma simultánea la recepción y la ubicación. La ubicación dirigida está ligada a la estrategia de almacenaje. Si se cuenta con un sistema de gestión de almacenes (SGA), se pueden definir criterios de ubicación que asignen los productos según criterios de productividad basados en diferentes estrategias de almacenaje. Dichas estrategias serán detalladas en el proceso de almacenaje.

- **Modo de lanzamiento de órdenes**

Las órdenes de ubicación pueden lanzarse de forma continua o discreta. El modo continuo implica que, a medida que se reciben los diferentes envíos de proveedores, se van lanzando las órdenes para localizar los productos en sus respectivos huecos de almacenaje. Si se implementa un modo discreto, en cambio, los productos esperan en la playa de recepción hasta que, en momentos concretos, se ubica todo lo que allí se encuentre.

- **Nivel Tecnológico**

La tecnología también puede agilizar el proceso de ubicación, ayudando a la búsqueda y validación de huecos. Para esto, tanto los códigos de barra como el RFID son efectivos (Frazelle. 2002b). Ambas tecnologías han sido expuestas en la recepción.

- **Nivel de subcontratación**

El proceso de ubicación pueden llevarlo a cabo dos tipos de agentes. El primero puede ser un operario subcontratado externo al almacén, el cual por ejemplo podría pertenecer a un operador logístico. El segundo podría ser un operario interno del almacén, bien con equipos de mantenimiento propios o alquilados.

- **Asignación de operarios a zonas**

La asignación de operarios a las zonas del almacén tiene como principal objetivo reducir los recorridos y la congestión ya que cada operario trabaja en una superficie más reducida (De Koster et al. 2007). De existir una zonificación en el almacén, esta asignación puede hacerse tanto de forma sincronizada (cuando varios operarios realizan de forma paralela la ubicación en sus respectivas áreas) como de forma progresiva (cuando un operario comienza la ubicación en su zona y al terminar continúa ubicando un segundo operario en una segunda zona). La Figura 5.2 ejemplifica un caso de asignación de operarios a dos zonas del almacén.

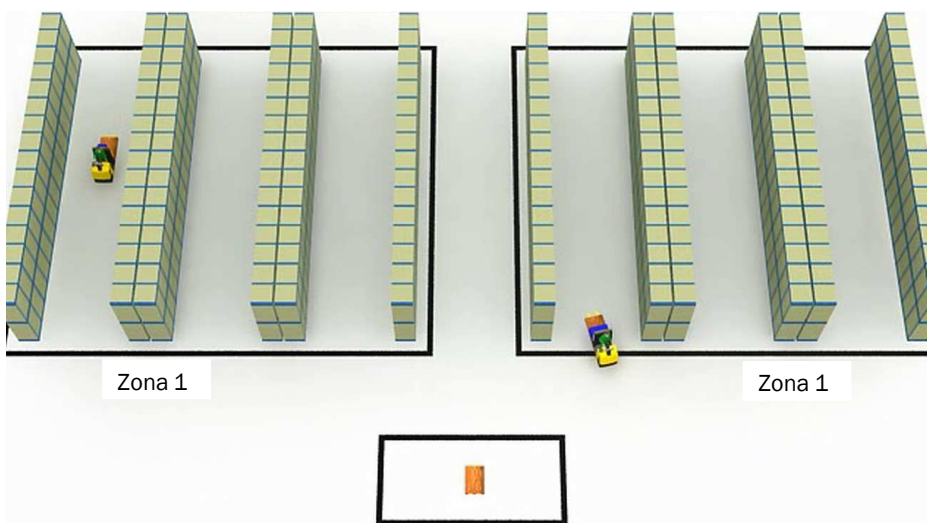


Figura 5.2 Asignación de operarios a zonas

5.1.3. Almacenaje

El almacenaje implica contener los productos mientras estos esperan a ser demandados por los clientes (Tompkins et al. 2010).

- **Nivel de automatización**

El nivel de automatización es compartido por los procesos de ubicación, almacenaje y preparación. Una descripción de este aspecto se detalla en el proceso de preparación de pedidos (Frazelle. 2002b, Tompkins et al. 2010).

- **SKUs**

En los almacenes se manipulan principalmente tres tipos de unidades: pallets, cajas y unidades sueltas (Goetschalckx et al. 2001).

1. Los pallets son el soporte en el que se agrupan los artículos almacenados y consisten en una plataforma sobre la cual se deposita la mercancía. Se ha intentado estandarizar el tamaño de los pallets con el fin de optimizar el uso de estos elementos y obtener un mejor aprovechamiento del espacio. El formato más extendido es el euro-pallet, de dimensiones 1200x800mm (aunque hay variantes).
2. Las cajas son contenedores en cuyo interior se aloja la carga. Estas cajas también han sido estandarizadas, construyéndose en dimensiones que son submúltiplos del euro-pallet. Esta estandarización también ha permitido normalizar el espacio en camiones y contenedores marítimos (Mecalux. 2010).
3. A pesar de la eficiencia que proporciona manipular pallets o caja, muchas veces es necesario almacenar o preparar unidades sueltas, ya sea porque se trata de productos con grandes dimensiones, o de baja rotación (y normalmente caros) que son demandados por el cliente en pequeñas cantidades (Frazelle. 2002b).

- **Zonificación**

Para acelerar el proceso de preparación, en muchos casos se separa el stock en una zona de preparación de pedidos (*picking*) y otra de reserva. El objetivo es minimizar los recorridos, por lo que se recomienda que la zona de picking sea lo más reducida posible (De Koster et al. 2007). Las decisiones claves en este punto son definir la cantidad de SKUs que serán ubicadas allí y el lugar donde se ubicarán esos

SKUs. Otra alternativa muy similar a esta para reducir el área de preparación, minimizando los recorridos y posicionando las SKUs Just in time, es la que se basa en los sistemas dinámicos (De Koster et al. 2007): grúas automáticas, carruseles o VLM (vertical lift module). Otro motivo para zonificar puede ser la posibilidad de preparar SKUs completas, ya sea pallet o caja, sin necesidad de abrir. Este punto es mencionado por Frazelle en su Warehouse activity profiling (Frazelle. 2002b).

En muchas ocasiones los diseñadores optan por un almacén multi-zona. Esto se debe a que un único método/equipo de almacenaje y extracción puede no ser adecuado para todas las referencias almacenadas, ni para todos los flujos logísticos (Errasti et al. 2010b). En ocasiones se seleccionan soluciones híbridas, con zonas manuales y automáticas, siguiendo criterios de rotaciones, familias, clientes, condiciones térmicas o químicas, y según el valor de los productos (ver Figura 5.3).

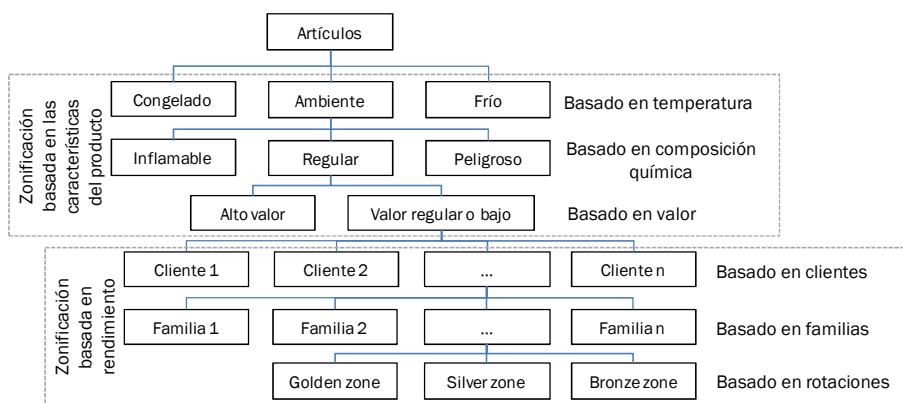


Figura 5.3 Árbol de zonificación (Frazelle. 2002b), modificado

- **Equipo de manutención**

El nivel de automatización es compartido por los procesos de ubicación, almacenaje y preparación. Una descripción de este aspecto se detalla en el proceso de preparación de pedidos (Frazelle. 2002b, Tompkins et al. 2010).

- **Estrategia de almacenamiento**

Los productos son ubicados en huecos de almacenaje para localizarlos fácilmente a la hora de realizar la preparación de pedidos. Existen diversos métodos para asignar cada producto a una determinada ubicación (Tabla 5.2).

Tabla 5.2 Estrategias de asignación de ubicaciones

Fija	Cada artículo tiene una ubicación fija. La principal ventaja de este método es que los operarios se familiarizan con las ubicaciones de cada producto. Sin embargo, esta estrategia se vuelve imposible cuando se almacenan cientos o miles de artículos. Además, la utilización del espacio es baja porque los lugares están reservados para un producto específico, y el almacén debe ser lo suficientemente grande para almacenar el máximo nivel de stock para esa referencia.
Aleatoria	A todos los productos entrantes se les asigna una ubicación seleccionada arbitrariamente entre los huecos vacíos. La utilización del espacio con este método es muy alta, pero los recorridos y el tiempo de identificación del producto son también muy elevados.
Primera Ubicación Libre	En este caso es el trabajador quien opta por almacenar los productos en la primera ubicación libre que encuentra. Siguiendo esta lógica, los lugares más cercanos tendrán mayor ocupación que los más alejados.
Según Rotaciones	Este método ubica los productos en base a sus rotaciones. Aquellos con mayores salidas se encuentran en los huecos más próximos, mientras que los más lentos se ubican en los huecos más alejados. Lo más importante es mantener este método actualizado, porque la demanda varía constantemente.
Según Clases (ABC)	El concepto del almacenaje basado en clases combina con algunos elementos previamente mencionados (De Koster et al. 2007). Este método se basa en que, normalmente, el 15% de los productos almacenados generan aproximadamente el 80% de la facturación (regla de Pareto). Se dividen los artículos en clases, y cada una de ellas se asigna a una zona fija, donde los productos se encuentran arbitrariamente ubicados. Los productos con mayor rotación son llamados elementos A; a los pertenecientes a la siguiente categoría se los conoce como B, y así sucesivamente. Normalmente las clases son acotadas a tres: A, B y C. En consecuencia, el almacenaje basado en clases requiere más espacio que la política de almacenamiento aleatoria, pero en contraposición, esta estrategia reduce el tiempo de viaje.
Según Familias	Ninguna de los métodos de asignación de huecos discutido hasta el momento han contemplado las posibles relaciones entre los productos (De Koster et al. 2007). Sin embargo, en ciertos sectores resulta interesante almacenar los elementos similares en ubicaciones cercanas. Es importante destacar que esta política podría ser fácilmente combinada con cualquiera de las estrategias anteriormente detalladas. En este caso, las familias obedecen mayoritariamente criterios ergonómicos o de complementariedad.

5.1.4. Preparación o *Picking*

Es el proceso de extraer productos de la zona de almacenaje en respuesta a un pedido específico de un cliente (De Koster et al. 2007). Cada uno de esos pedidos está compuesto por líneas, y a su vez cada línea implica una cierta cantidad de una única referencia o SKU. Además, este proceso puede incluir actividades de consolidación y clasificación.

La preparación es la operación del almacén que consume más recursos, ya sea en términos de personal en sistemas manuales, o de inversión en sistemas automatizados (Tompkins et al. 2010). Su principal objetivo es maximizar en nivel de servicio (Goetschalckx and Ashayeri. 1989), pero también busca minimizar los recorridos, maximizar el uso de los recursos (equipos, personal y espacio), y maximizar la accesibilidad de todos los SKUs.

En los últimos años, la creación de soluciones innovadoras para mejorar este proceso ha avanzado rápidamente, y lo seguirá haciendo. Sin embargo, los trabajos académicos están alejados de la práctica, ya que las nuevas tecnologías y operativas han sido escasamente contempladas en este proceso (De Koster et al. 2007).

- **Nivel de automatización**

Los sistemas de preparación de pedidos pueden clasificarse por su nivel de automatización en Sistemas Automáticos, Sistemas Producto a Operario y Sistemas Operario a Producto (Errasti et al. 2010a).

La característica principal de los sistemas Automáticos es la ausencia de participación de personal en el picking. Estos sistemas son empleados en casos muy especiales debido al alto nivel de estandarización e inversión que requiere (Rushton et al. 2010). En los otros dos sistemas existe intervención humana, en mayor o menor grado. En el caso de una preparación Producto a Operario es la mercancía la que es trasladada hacia la localización del personal mediante sistemas de almacenamiento automático. En los sistemas Operario a Producto, en cambio, es la persona quien se desplaza a lo largo de los pasillos, a pie o haciendo uso de distintos equipos de manutención, con el objeto de recoger los materiales (De Koster et al. 2007, Errasti et al. 2010a) (ver Figura 5.4).

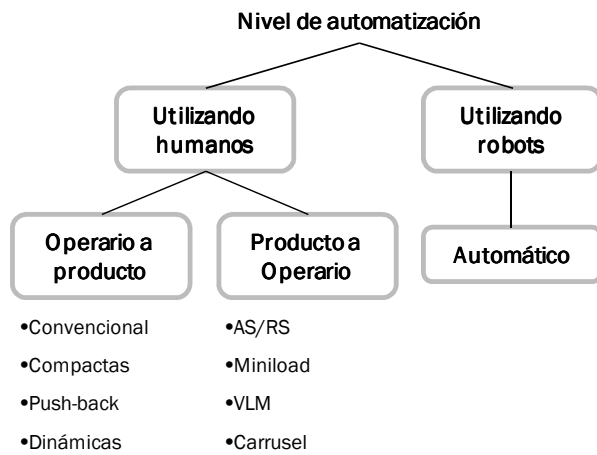


Figura 5.4 Clasificación de sistemas según automatización (De Koster et al. 2007), adaptado

Como se ve en la Tablas 5.3 y 5.4, los sistemas con intervención humana también se subdividen en función de la unidad de carga que almacenan: pallets, cajas, unidades sueltas o sistemas mixtos.

Tabla 5.3 Comparativa de sistemas de almacenaje Operario a producto

Sistema	Unidad de carga	Ventajas	Desventajas
Convencionales	Pallets/Cajas/ Unidades	*Fácil implantación y modificación	*Bajo aprovechamiento del espacio
Compactas	Pallets/Cajas	*Grandes cantidades en poco espacio	*Una referencia por pasillo *Para pocas referencias y mucho stock
Push-back	Pallet	*Más de un pallet en el mismo hueco *Buen rendimiento superficial	*Necesidad de pallets en óptimo estado *Alto mantenimiento
Dinámicas	Pallets/Cajas	*Permite FIFO *Buen rendimiento superficial	*Necesidad de pallets o cajas con embalajes en óptimo estado *Alto coste de adquisición

Tabla 5.4 Comparativa de sistemas de almacenaje Producto a operario

Sistema	Unidad de carga	Ventajas	Desventajas
AS/RS ³	Pallets	*Gran capacidad de almacenaje *Altos niveles de productividad	*Difícil de modificar *Alto coste de adquisición
Miniload	Cajas	*Muchas referencias en poco espacio *Control de existencias integrado Aprovechamiento en altura	*Difícil de modificar *Alto coste de adquisición *Inversión en bandejas y cajas
VML ⁴	Cajas	Muchas referencias en poco espacio Control de existencias integrado Flexibilidad en la configuración	*Difícil de modificar *Alto coste de adquisición
Carrusel	Cajas	Muchas referencias en poco espacio Control de existencias integrado	Difícil de modificar Alto coste de adquisición

Existe una amplia variedad de sistemas de almacenaje. Los resumidos en la Tabla 5.3 son los más comúnmente utilizados en la práctica. Sin embargo, hay disponibles en el mercado otras soluciones que pueden verse como modificaciones de las detalladas (Mecalux. 2010).

³ Sistema de Almacenaje y Extracción Automático o *Automatic Storage and Retrieval System*

⁴ Sistema de Almacenaje Vertical o *Vertical Lift Module*

- **Ruteo**

Para preparar un pedido, un preparador puede recorrer los pasillos de un almacén siguiendo diferentes rutas. Los métodos de ruteo más comunes se sintetizan en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5 Métodos de ruteo

En forma de S	Esta es una de las estrategias más simples. El operario ingresa al pasillo por un extremo y sale por el otro, pero sólo en aquellos pasillos donde hay referencias a extraer durante ese viaje.
De Retorno	Esta es otra de las estrategias más sencillas para definir el ruteo. El preparador entra y sale de un pasillo desde el mismo punto, y sólo lo hace en los pasillos que contienen referencias a extraer.
Punto medio	En esta estrategia, existe un punto medio que divide la zona de almacenaje en dos secciones. Sólo se puede acceder a un pasillo hasta su punto medio, por lo que el preparador realiza una ruta de retorno desde el pasillo de adelante y una ruta de retorno desde el pasillo de atrás.
Hueco más lejano	Esta estrategia es similar a la del punto medio, excepto que el preparador recorre cada pasillo hasta el hueco más alejado dentro de un pasillo, en lugar de hasta el punto medio (Petersen II. 1997). Este recorrido podría ser el tramo entre dos productos adyacentes, o la separación entre la primera referencia y la parte posterior del pasillo.
Compuesta	Esta estrategia de ruteo (Petersen. 1995) combina las mejores características de las estrategias en forma S y retorno, pero su implementación es más compleja.
Óptima	Un procedimiento de ruteo óptimo utiliza la mejor combinación de los métodos heurísticos antes detallados, minimizando la distancia total del recorrido (Ratliff and Rosenthal. 1983, Hall. 1993).

A pesar de existir un procedimiento óptimo, las estrategias heurísticas (En forma de S, De Retorno, Punto medio, Hueco más lejano y Compuesta) pueden proporcionar rutas casi-óptimas, son más fáciles de entender, y evitan la confusión inherente a la solución óptima (Hall. 1993).

- **SKUs**

La heterogeneidad entre las SKUs almacenadas y las preparadas, puede generar la necesidad de un acondicionamiento de los productos previo a la expedición (Frazelle. 2002b, Errasti. 2011). Los tipos de SKUs han sido detallados en el proceso de almacenaje.

- **Equipo de manutención**

Uno de los tres componentes del flujo es la maquinaria que mueve a los productos a lo largo del almacén. Estos equipos de manutención suelen ser clasificados en manuales, eléctricos o automáticos.

Manuales: no disponen de ningún dispositivo eléctrico, y por tanto los movimientos se realizan arrastrándolos manualmente. Los ejemplos más utilizados son:

1. Traspaleta
2. Carretilla manual
3. Apilador manual

Equipos eléctricos: disponen de motores, tanto para facilitar el desplazamiento de la carga, como para levantarla del suelo. Los ejemplos más utilizados son:

1. Traspaleta eléctrica
2. Recogepedidos
3. Apilador
4. Carretilla trilateral
5. Carretilla contrapesada

Automáticos: no necesitan de una persona para mover el equipo o para manipular los controles, sino que todas las operaciones están comandadas por un software de control y gestión. Los ejemplos más utilizados son:

1. AGVs (Vehículos Auto-guiados o *Automatic Guided Vehicles*)
2. Cintas y rodillos
3. Grúas

Todos estos equipos de manutención tienen diferentes características en cuanto a requerimientos de espacio, altura que alcanzan, coste inicial que implican, etc. Para ver las especificaciones de cada uno de ellos se recomienda ver el manual de técnico del almacenaje (Mecalux. 2010).

- **Gestión de stocks**

Una forma de optimizar las operaciones de preparación es crear una zona de stock destinado únicamente para picking separada de la zona de almacenaje general. Aquí se suelen ubicar los productos con alta demanda, minimizando los recorridos del preparador. Si en lugar de disponer de una única zona de almacenaje y picking se adopta esta solución, es importante definir qué productos y en qué cantidades serán asignado allí (Gu et al. 2007). Dado que esta zona pretende agilizar la gestión, es fundamental que ésta no se quede sin stock. Por este motivo, investigadores como Carrasco han desarrollado algoritmos para gestionar el reaprovisionamiento (Carrasco-Gallego and Ponce-Cueto. 2010). Según De Koster, para ver si realmente compensa su implantación de esta alternativa, hay que tener en cuenta los esfuerzos extras de reaprovisionamientos que implica y compararlos con la reducción de los esfuerzos de preparación (De Koster et al. 2007).

- **Agrupación y clasificación**

Cuando los clientes piden órdenes grandes, éstas pueden ser preparadas individualmente. Este tipo de preparación se conoce como preparación por-pedido. Sin embargo, cuando los pedidos son pequeños y la comunalidad entre las líneas es elevada, una preparación por-artículo o agrupada puede reducir considerablemente los recorridos (De Koster et al. 2007). Si la preparación se realiza de forma agrupada, es necesario añadir una función de clasificación, de la cual existen dos variantes: sort while pick (ordenación ex ante) y pick and sort (ordenación ex post) (Carrasco-Gallego and Ponce-Cueto. 2010). En la primera, la preparación y la clasificación de los respectivos pedidos se realizan de forma simultánea utilizando generalmente un carro

de picking, mientras que en la segunda se van retirando los productos sin distinguir a qué pedido corresponden, siendo necesario un proceso adicional de clasificación aguas abajo.

- **Modo de lanzamiento de órdenes**

Las órdenes de preparación también pueden lanzarse de forma continua o discreta. La preparación continua se realiza a medida que los pedidos son grabados por los clientes, mientras que la preparación discreta se realiza en periodos seleccionados de tiempo. Una modalidad de lanzamiento discreto es la ola de picking, donde los pedidos con el mismo destino se lanzan de forma agrupada (Carrasco-Gallego and Ponce-Cueto. 2010).

- **Nivel Tecnológico**

La preparación puede mejorarse empleando tecnologías como el Pick to light o el Pick to voice, que ayudan a identificar inmediatamente la mercancía reduciendo los tiempos de búsqueda del preparador. Con la primera, las instrucciones de extracción se comunican al operario a través de indicadores luminosos que señalan de dónde se deben extraer los productos y la cantidad a extraer. La segunda es una variante de recogida de productos en la cual los operarios son dirigidos a las distintas ubicaciones para extraer el producto mediante la utilización de auriculares conectados a la terminal de datos (Rushton et al. 2010, Errasti et al. 2010a). La Figura 5.5 muestra ambas tecnologías.



Figura 5.5 Pick to Light y Pick to Voice

- **Nivel de subcontratación**

El proceso de preparación de pedidos pueden realizarlo dos tipos de agentes. El primero puede ser un operario subcontratado externo al almacén que, por ejemplo podría pertenecer a un operador logístico. El segundo podría ser un operario interno del almacén, bien con equipos de manutención propios o alquilados.

- **Asignación de operarios a zonas**

La preparación puede realizarse con uno o más operarios en una única zona. Sin embargo, esta zona puede subdividirse para hacer el proceso más ágil, de forma que a cada preparador o grupo de preparadores se les asigna una sub-zona, reduciendo recorridos y evitando el congestionamiento de los pasillos. Una forma para realizar esta preparación multi-zona es la progresiva, donde un operario comienza el picking y el siguiente no puede empezar hasta que el primero haya terminado su parte. La segunda manera es la sincronizada. En este caso, los pedidos se van preparando en paralelo en las diferentes zonas, requiriendo posteriormente la consolidación de los mismos (De Koster et al. 2007, Carrasco-Gallego and Ponce-Cueto. 2010). La Figura 5.2 ejemplifica esta asignación de operarios a zonas para el proceso de ubicación.

5.1.5. Expedición

El proceso de carga y expedición incluye la comprobación de las órdenes de carga que están completas y empaquetadas en unidades de envío, la preparación de los documentos de embarque (packing list), las etiquetas y facturas, la determinación del peso de la carga, la acumulación de la carga en la playa de expedición y la comprobación de la carga en el camión.

La expedición puede verse como el proceso “inverso” de la recepción, por lo que las alternativas para este primer proceso ya han sido mencionadas en apartado 5.1.1 en términos de Gestión de stocks, Expedición lógica, Expedición física, Nivel de subcontratación y Nivel Tecnológico. En este último punto, quedaría por añadir el uso de tecnologías de diseño de mosaicos de carga. Existen aplicaciones informáticas comerciales que ayudan al operario que va a realizar la carga en el camión a seleccionar la secuencia de carga, ya sea teniendo en cuenta el destino de la misma o en base a criterios de apilabilidad de los productos (ver Figura 5.6).

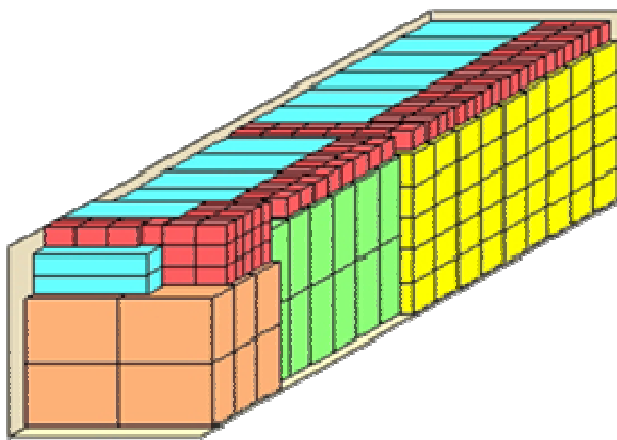


Figura 5.6 Ejemplo de mosaico de carga

5.1.6. Procesos compartidos

En los que respecta a la recepción y a la expedición, se suele equilibrar tanto la carga como los recursos coordinando ambos procesos. Normalmente se hace un balance de los muelles de carga y descarga (Frazelle. 2002b).

Para mejorar la utilización de los recursos varios procesos suelen combinarse. Por ejemplo, la ubicación y la preparación pueden coordinarse para evitar que los equipos de mantenimiento realicen viajes en vacío. Si estos procesos se realizan de forma independiente, cada movimiento se denomina *ciclo simple*. Si, por el contrario, en un único viaje se aprovecha tanto para ubicar un producto como para extraer otro, se denominan *ciclos dobles* o *múltiples* (De Koster et al. 2007).

La Figura 5.7 muestra un esquema de los movimientos necesarios para llevar a cabo ciclos simples y ciclos dobles.

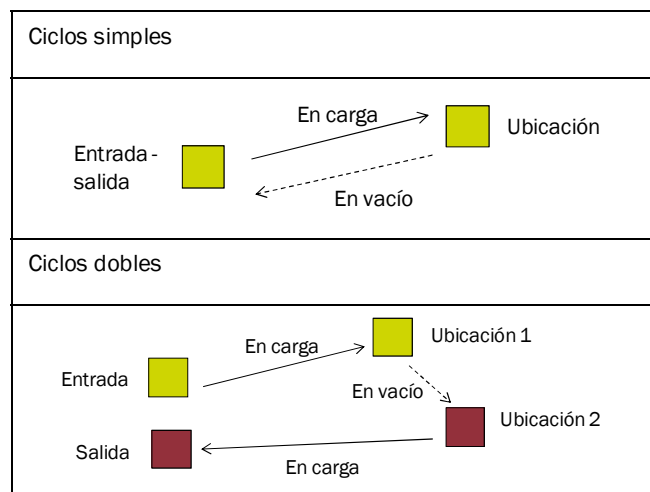


Figura 5.7 Ciclos simples y ciclos dobles

5.2. Reestructuración de las alternativas de diseño. Desarrollo de una nueva herramienta: el Diagrama de estrellas

Se ha desarrollado una herramienta compuesta por cinco diagramas en forma de estrella, uno por cada proceso de flujo de material (recepción, ubicación, almacenaje, preparación de pedidos y expedición). Dichos diagramas reestructuran las alternativas de diseño de almacenes detalladas previamente en este capítulo.

Los colores verde y violeta representan las decisiones comunes que deben tomarse para más de un proceso. El verde simboliza las **decisiones conjuntas para la ubicación, el almacenaje y la preparación**; el violeta las **decisiones conjuntas para la recepción y la expedición**. Las decisiones compartidas también se muestran en aquellas ramas que unen dos procesos. El negro representa diferentes alternativas en cuanto a operativas, mientras que el granate muestra **decisiones relacionadas con el nivel tecnológico o las características del sistema**.

La figura 5.8 muestra una visión del conjunto del Diagrama de estrellas. Si se hace un zoom a cada uno de los principales procesos de flujo de material, se pueden ver en detalle las opciones de diseño contempladas en la herramienta (ver Figuras 5.9, 5.10 y 5.11).

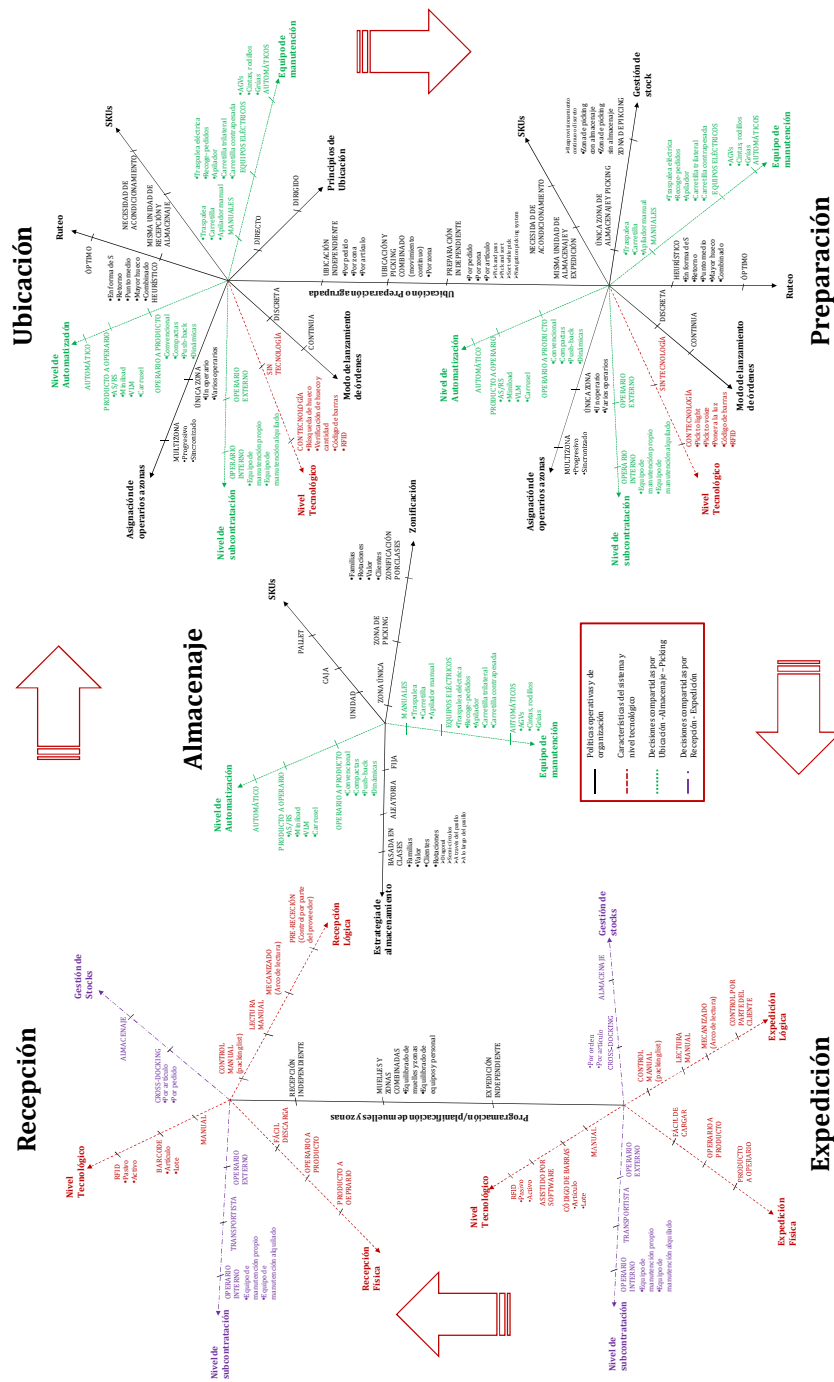


Figura 5.8 Diagrama de estrellas

Almacenaje

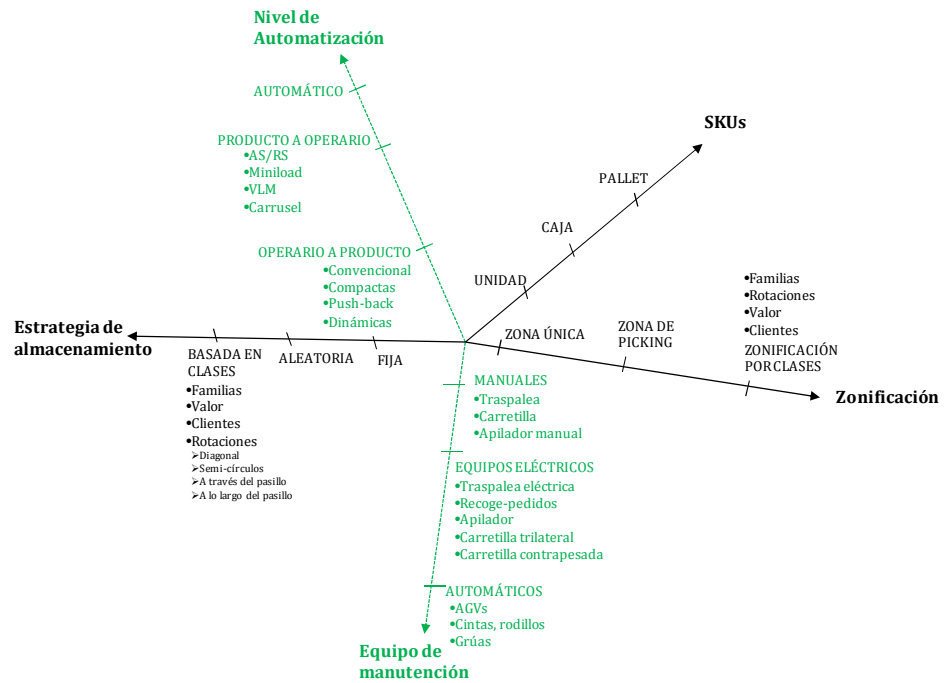


Figura 5.9 Estrella de almacenaje

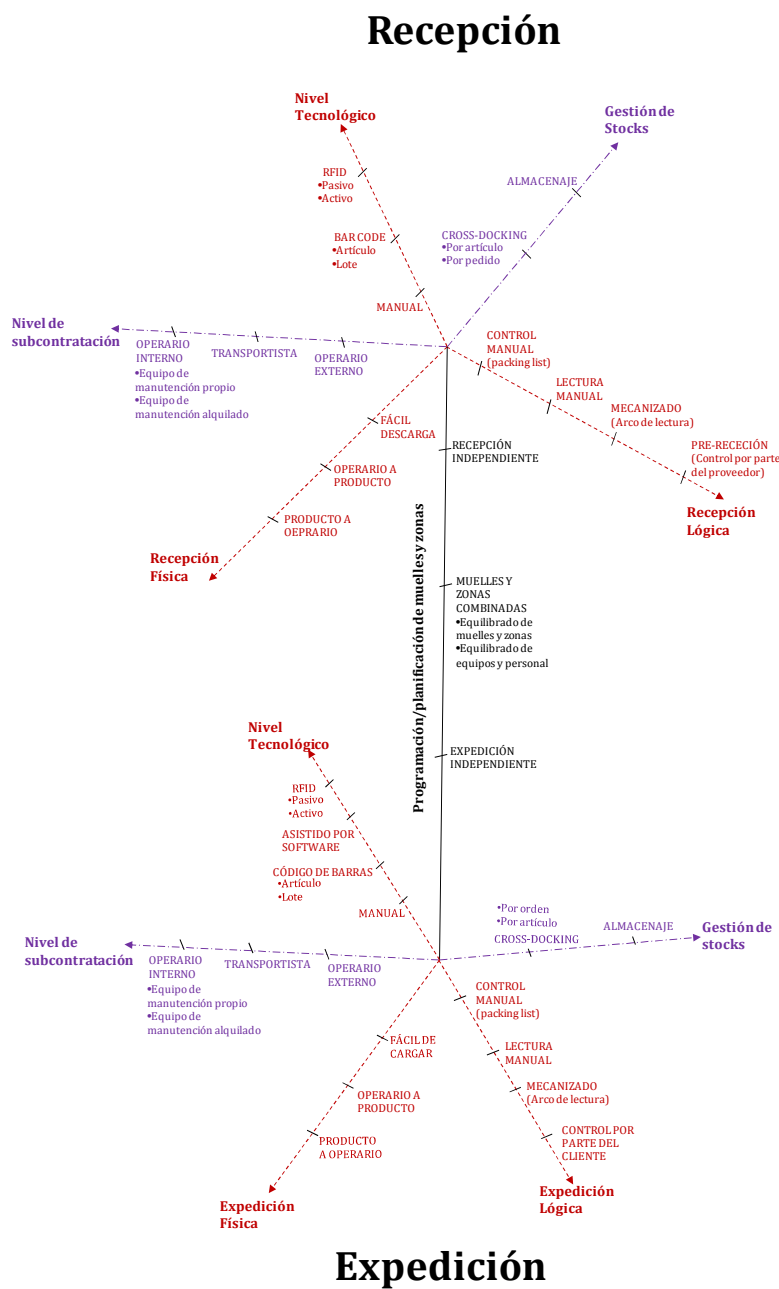


Figura 5.10 Estrellas de recepción y expedición

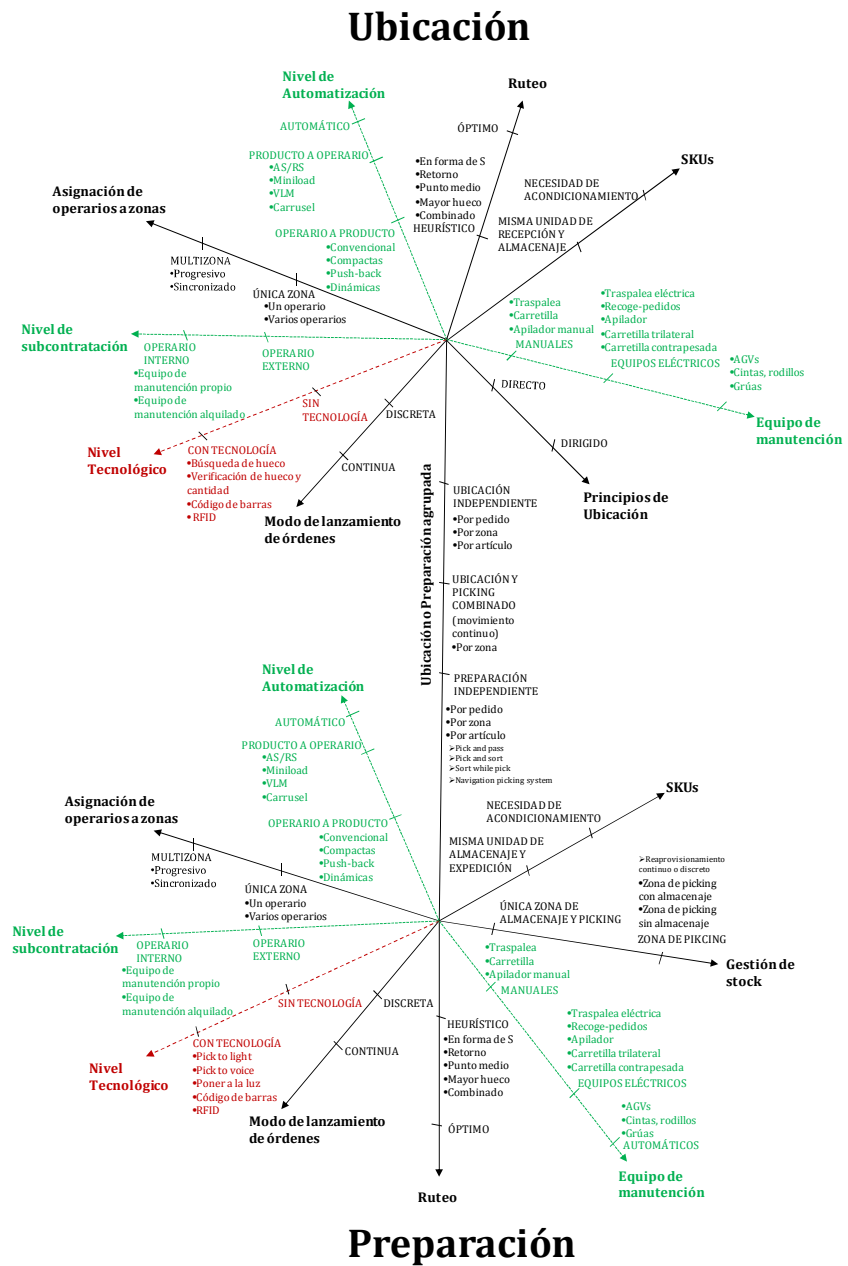


Figura 5.11 Estrellas de ubicación y preparación

5.3. Conclusiones

Con el fin de facilitar la identificación de las posibles alternativas de diseño para cualquier tipo de almacén y agilizar el proceso de aprendizaje de un nuevo diseñador se ha desarrollado el Diagrama de estrellas que consiste en una forma novedosa de reestructurar las alternativas de diseño de almacenes para los procesos de flujo de material. **La herramienta generada en este punto de la investigación es la primera versión del segundo resultado de esta tesis (R2), el cual contribuye al cumplimiento del segundo objetivo planteado (O2).** Una versión mejorada y validada de la misma será presentada en el capítulo 7.

Capítulo 6.

Metodología de diseño de almacenes

En este capítulo se resume el tercer resultado de la tesis (R3), la propuesta de una metodología de diseño de almacenes, contribuyendo con el cumplimiento del tercer objetivo planteado (O3). Dicha metodología se basa en los cuatro trabajos de investigación con mayor relevancia en el ámbito del diseño de almacenes y en una revisión específica de las alternativas de diseño existentes para los procesos de flujo de material.

El contenido de algunas etapas de esta metodología será expuesto con mayor profundidad en los capítulos siguientes, así como las ventajas y limitaciones de la misma.

6.1. Diseño de los procesos de flujo de material en almacenes

Como conclusión de la revisión bibliográfica llevada a cabo, se puede decir que, si bien otros académicos han realizado importantes aportaciones referentes al diseño de almacenes, **aún existe la necesidad de desarrollar investigaciones que puedan contribuir a la construcción de una metodología sistemática para el diseño que logre guiar al diseñador, reduciendo el número de alternativas disponibles, en base a la complejidad de los procesos de flujo de material y al rendimiento objetivo.**

Si se sintetizan los pasos propuestos por los cuatro trabajos de investigación con mayor relevancia en el ámbito del diseño de almacenes (Rouwenhorst et al. 2000, Goetschalckx et al. 2001, Baker and Canessa. 2009, Gu et al. 2010) y se considera al dimensionamiento del almacén una etapa previa al diseño de los procesos de flujo de material, se obtiene la secuencia de pasos mostrada a continuación:

1. Definir los requisitos del sistema.
2. Obtener y analizar los datos.
3. Preparar los posibles Layouts (zonas del almacén).
4. Considerar los posibles equipos y características
 - 4.1. Nivel de automatización
 - 4.2. Sistema de almacenaje
 - 4.3. Equipos de manutención
5. Determinar operativas
 - 5.1. Recepción
 - 5.2. Ubicación
 - 5.3. Almacenaje
 - 5.4. Preparación de pedidos
 - 5.5. Expedición
6. Evaluar posibles diseños
7. Identificar el diseño final

Por otra parte se ha visto que la complejidad del almacén puede calcularse mediante el *Warehouse activity profiling* (Frazelle. 2002b). El principal objetivo de esta medición es facilitar la selección de las alternativas de diseño que se adapten a las exigencias de cada almacén. En su libro *World-Class Warehousing and Material Handling*, Frazelle desglosa al *Warehouse activity profiling* en:

- A. Perfil de órdenes del cliente.
 - a. Líneas por orden.
 - b. Cantidad por orden.
- B. Perfil de referencias.
 - a. Rotaciones.
 - b. Características del producto (familia, valor, temperatura, etc.).
- C. Perfil del inventario.
 - a. Unidades de almacenaje (SKUs).
 - b. Cantidad de referencias almacenadas.
- D. Perfil de actividades.
 - a. Necesidad de acondicionamiento.
 - b. Necesidad de consolidación.

El cálculo del *Warehouse activity profiling* es parte del paso obtener y analizar los datos (2), llevado a cabo luego de haber definido los requerimientos del sistema (1). El perfil de las referencias (B) y el perfil de actividades (D) ayudan a preparar los posibles Layouts (3), señalando la necesidad de crear diferentes zonas de almacenaje, así como también áreas de acondicionamiento y consolidación de productos. El perfil de órdenes de cliente (A) y el perfil de inventario (C) influyen en la decisión de equipos y sus características (4) y en la selección de operativas (5). Finalmente se evalúan los posibles diseños (6) y se identifica el diseño final (7) en base a la definición de los requerimientos de sistema (1) realizado en un principio.

6.2. Metodología de diseño de almacenes propuesta

A continuación se describe la metodología de diseño de almacenes propuesta en este trabajo de investigación que se basa en los pasos de diseño mostrados en el apartado 6.1 y en el Warehouse activity profiling.

Además, utiliza el Diagrama de estrellas presentado en el capítulo 5 para asistir la toma de decisiones durante el proceso de diseño y sugiere la utilización de dos herramientas con potencial para ayudar al diseñador: la simulación de eventos discretos (DES) y en diseño de experimentos (DoE). Asimismo, utiliza como guía ejemplos de diseños de almacenes de referencia recopilados consultando a expertos y realizando casos de investigación en acción (ver Anexo 2).

Pande et al., describen una serie de 5 pasos necesarios para el diseño de cualquier proceso, enmarcado en el tradicional enfoque de Design for Six Sigma (DFSS) o Diseño para Seis Sigma (Pande et al. 2005). En esta tesis doctoral, se utilizan estos 5 pasos para definir la nueva metodología de diseño de almacenes que engloba los pasos sugeridos previamente en la bibliografía (ver Tabla 6.1).

Tabla 6.1 Equivalencia de pasos entre la nueva metodología de diseño y la bibliografía

Pasos del DFSS	Descripción según DFSS	Pasos equivalentes en la bibliografía
Definir.	Clarificar los requerimientos y restricciones del diseño final.	*Definir los requisitos del sistema.
Medir.	Identificar los aspectos a medir y decidir cómo estos serán evaluados.	*Obtener y analizar los datos.
Analizar.	Crear conceptos innovadores y reducir la lista de posibles alternativas.	*Preparar los posibles Layouts. *Considerar los posibles equipos y características. *Determinar operativas.
Diseñar.	Seleccionar el mejor de los diseños listados, pudiendo utilizar simulación para hacerlo.	*Evaluar posibles diseños.
Verificar.	Testear e implementar el diseño seleccionado.	*Identificar el diseño final.

Un esquema de la metodología de diseño propuesta se puede visualizar en la Figura 6.1, donde se incluyen los 5 pasos (Definir, Medir, Analizar, Diseñar y Verificar) y una descripción de los mismos personalizada para el diseño de almacenes.



Figura 6.1 Metodología de diseño propuesta

6.2.1. Definir

Como primer paso para diseñar un almacén es necesario definir los requerimientos y restricciones que el diseño final debe cumplimentar. Como sugiere Frazelle, deben priorizarse las siguientes medidas de rendimiento: el Coste, la Productividad y la Calidad (Frazelle. 2002a)

Cada sector exige diferentes niveles para estas tres medidas. Algunos sectores como el farmacéutico, requieren calidades excelentes en tiempos muy reducidos, siendo necesaria una elevada inversión en tecnología. Sin embargo, otros sectores necesitan garantizar precios bajos, sacrificando la calidad para reducir los costes.

Las soluciones de diseño factibles se compararán en pasos posteriores en base a los requerimientos y restricciones definidos en esta primera etapa.

6.2.2. Medir

En esta etapa se mide el nivel de complejidad del almacén. Si se trata de un diseño desde cero (green field), se utilizan previsiones para ello. De lo contrario, si se trata de un rediseño de un almacén ya existente (brown field), se utilizan tanto datos históricos como previsiones para contemplar escenarios futuros. Este nivel de complejidad se mide mediante el Warehouse activity profiling presentado por Frazelle (Frazelle. 2002b), detallado en el apartado 6.1.

El perfil de las referencias (B) y el perfil de actividades (D) ayudan a preparar los posibles Layouts (3), señalando la necesidad de crear diferentes zonas de almacenaje, así como también áreas de acondicionamiento y consolidación de productos. La división en diferentes zonas de almacenaje puede ser necesaria cuando no todos los flujos o artículos pueden ser almacenados en un único sistema o utilizar el mismo equipo de manutención. En el capítulo 5 se describió el árbol de zonificación propuesto por Frazelle, el cual es útil en esta etapa del proceso de diseño (ver Figura 5.3).

Para cada zona del almacén es necesario definir qué sistemas de almacenaje y equipos de manutención son los más adecuados para almacenar la cantidad de referencias existentes y para manipular las SKUs empleadas. Asimismo es preciso seleccionar las operativas y el apoyo tecnológicos requeridos para mover las líneas y la cantidad por orden demandadas por los clientes. El perfil de órdenes de cliente (A) y el perfil de inventario (C) influyen en la decisión de los equipos y sus características (4) y en la selección de operativas (5).

Estos cuatro factores que componen ambos perfiles son divididos en tres categorías cada uno, generando 81 (3⁴) niveles de complejidad. A continuación se describen los límites de cada categoría, los cuales serán resumidos en la Tabla 6.2.

1. Líneas por orden.
 - 1.1. Menos de 100
 - 1.2. Entre 100 y 1000
 - 1.3. Más de 1000

- 2. Cantidad por orden.
 - 2.1. Menos de 10
 - 2.2. Entre 10 y 50
 - 2.3. Más de 50

- 3. Unidades de almacenaje (SKUs)
 - 3.1. Pallets
 - 3.2. Cajas
 - 3.3. Unidades

- 4. Cantidad de referencias almacenadas
 - 4.1. Menos de 100
 - 4.2. Entre 100 y 1000
 - 4.3. Más de 1000

Tabla 6.2 Tabla para medir nivel de complejidad

Líneas por orden.	Cantidad por orden.	Unidades de almacenaje (SKUs)	Cantidad de referencias almacenadas
(1) Menos de 100	(1) Menos de 10	(1) Pallets	(1) Menos de 100
(2) Entre 100 y 1000	(2) Entre 10 y 50	(2) Cajas	(2) Entre 100 y 1000
(3) Más de 1000	(3) Más de 50	(3) Unidades	(3) Más de 1000
¿1, 2 o 3?	¿1, 2 o 3?	¿1, 2 o 3?	¿1, 2 o 3?

En este punto, si se trata de un rediseño es posible utilizar la herramienta de análisis y visualización creada para asistir la toma de decisiones durante el proceso de diseño presentada en el capítulo 5. El Diagrama de estrellas es útil para mapear el estado del almacén antes del proceso de diseño o lo que se conoce en inglés como el sistema *AS IS*. Esto se utilizará en los próximos pasos de la metodología, ya que posibilita comparar el futuro diseño o el sistema *TO BE* con el sistema *AS IS*. Como se verá en última etapa (Verificar), este mapeo del estado actual del almacén puede servir como criterio de selección de nuevas alternativas de diseño.

La Figura 6.2 muestra un ejemplo de mapeo de un sistema AS/IS.

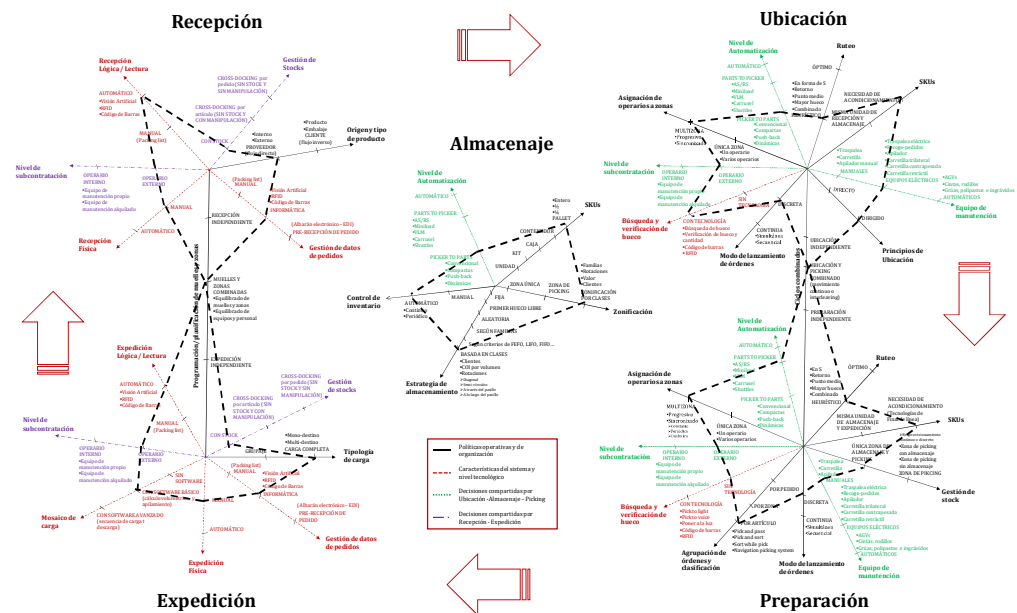


Figura 6.2 Mapeo del sistema AS/IS

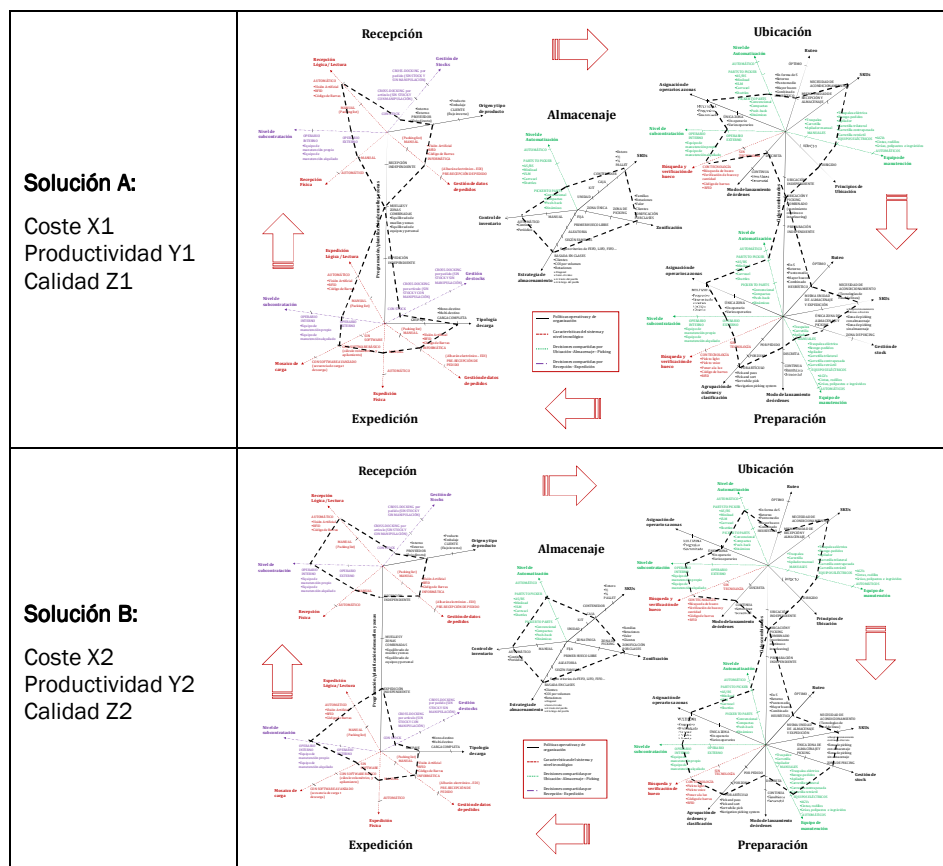
6.2.3. Analizar

En esta etapa se reduce el universo de soluciones de diseño en base al nivel de complejidad del almacén medido (según los 81 niveles definidos). Ante la imposibilidad, por limitaciones de tiempo, de ejemplificar estos 81 niveles y con objeto de facilitar esta etapa se ha generado un archivo que contiene algunas **soluciones de diseño para diferentes niveles de complejidad**. Dicho archivo se ha construido consultando a expertos en el diseño de almacenes (capítulo 7), mediante el desarrollo de casos prácticos que suponen mejores prácticas (capítulo 8) y también utilizando herramientas ya existentes como el Diseño de Experimentos (DoE) y la Simulación de eventos Discretos (DES). Como se mencionó en el capítulo 3, estas herramientas proporcionan gran potencial a la hora de comparar diferentes alternativas de diseño en diversos escenarios. La utilidad y las limitaciones del DoE y de la DES han sido comprobadas en los casos de investigación en acción detallados en el capítulo 8.

En conclusión, en esta etapa de la metodología de diseño se sugerirán, a modo de ejemplo, diferentes soluciones de diseño para cada nivel de complejidad, señalando el rendimiento que estas soluciones han proporcionado en sistemas reales con el mismo nivel de complejidad.

La Tabla 6.3 muestra un ejemplo para un nivel de complejidad X, donde se enseñan dos soluciones de diseño (A y B), cada una con diferentes valores de coste, productividad y calidad.

Tabla 6.3 Ejemplo para un nivel de complejidad X



6.2.4. Diseñar

En esta etapa se seleccionan los diseños que se ajustan a las necesidades del almacén en base a los requisitos y restricciones definidos en el primer paso.

Si el diseñador considerase que ninguna de las soluciones de diseño sugeridas en la etapa de Análisis es aceptable para los objetivos definidos, se sugiere la utilización del Diseño de Experimentos y de la Simulación de Eventos Discretos para obtener una solución de diseño personalizada. Además, el DoE se propone como una herramienta que ayuda a generar diseños más flexibles y robustos. En el capítulo 8 se muestra con ejemplos reales la utilidad de estas herramientas.

6.2.5. Verificar

Durante la última etapa se identifica el diseño final que será implementado. Si existiesen varias soluciones de diseño que cumplimentaran los requerimientos y restricciones impuestos, el diseño final puede seleccionarse en base al criterio que decida el diseñador. Simplemente se puede priorizar una de las medidas de rendimiento (Coste, Productividad y Calidad) y optar por elegir la solución que maximice la medida más importante. En esta etapa, el mapeo del sistema *AS IS* realizado en la segunda etapa (Medir) puede ser útil para seleccionar el *sistema TO BE* según criterios de semejanza. Los cambios son costosos y una nueva solución de diseño similar al diseño actual puede simplificar la implantación y puesta a punto del almacén. Finalmente es necesario implementar el diseño y registrar las medidas de rendimiento obtenidas, verificando que cumplen con los objetivos del primer paso.

6.3. Conclusiones

Se propone una metodología de diseño de almacenes compuesta por cinco pasos (Definir, Medir, Analizar, Diseñar y Verificar), la cual **es el tercer resultado de esta tesis (R3), y contribuye al cumplimiento del tercer objetivo (O3)**. Dicho resultado se basa en las metodologías de diseño propuestas por otros académicos en la bibliografía, incorporando el Diagrama de estrellas (R2) y una recopilación de diseños de almacenes de referencia (R4) para la selección de configuraciones en base al nivel de complejidad del almacén y al rendimiento objetivo (desarrollado en los capítulos siguientes). La principal ventaja de esta metodología es su enfoque práctico. Los

cinco pasos a seguir son sencillos y además se encuentran soportados por herramientas que dejan menor lugar a la intuición, al juicio y a la experiencia de cada diseñador.

La mejora y validación del Diagrama de estrellas (R2) se realiza mediante un Estudio Delphi detallado en el capítulo 7. Luego, los diseños de almacenes de referencia son recopilados gracias al contacto con los expertos participantes en el panel, así como también llevando a cabo cinco casos de Investigación en Acción descritos en el capítulo 8.

Capítulo 7.

Estudio Delphi

En este capítulo se presenta el proceso de validación del Diagrama de estrellas, la herramienta desarrollada para representar gráficamente las alternativas de diseño de los procesos de flujo de materiales de un almacén. Con este fin, se detalla el estudio Delphi de dos rondas llevado a cabo con 10 expertos y se señalan las principales aportaciones proporcionadas por los mismos.

Al final del capítulo se presenta una nueva versión del Diagrama de estrellas incluyendo las aportaciones de los expertos, así como también una introducción del recopilatorio de soluciones de diseño que pueden ser utilizadas como guía práctica. Dichas soluciones han sido obtenidas de las contribuciones de algunos expertos quienes las catalogaron como mejores prácticas debido a la adecuación de la solución a la complejidad de los procesos y al rendimiento obtenido, y se incluyen en mayor grado de detalle en el Anexo 2.

Este capítulo completa el segundo resultado de esta tesis (R2) y contribuye a la obtención de cuarto resultado (R4), aportando a la consecución de los objetivos O2 y O4 respectivamente.

7.1. Necesidad de realizar un Estudio Delphi

Dado que la nueva herramienta propuesta para la configuración de los procesos de flujo de material de almacén tiene como principal objetivo agregar valor al proceso de diseño, siendo útil como guía práctica, el estudio Delphi resultó la metodología idónea para lograr mejorar y validar lo desarrollado hasta ese momento.

Como se expuso en el apartado 2.3 de la presente memoria, el punto más crítico de un estudio Delphi es la selección de los expertos. Es necesario que estén cualificados y que posean un profundo conocimiento del problema que se analiza. La herramienta se puso a prueba bajo el ojo experto de un grupo selecto de diseñadores de almacenes con muchos años de trayectoria. A continuación se describe el procedimiento empleado para seleccionar y contactar con dichos expertos.

En primer lugar se enumeraron las capacidades y el conocimiento específicos que una persona debía poseer para poder ser catalogada como experta en diseño de almacenes, así como también las organizaciones de referencia en el tema. Se consideró que una persona está cualificada para participar en el proceso de validación de la herramienta si, al menos, ha liderado procesos de diseño de almacenes desde empresas de consultoría, ingenierías logísticas o empresas de mantenimiento, así como también aquellas personas que hayan puesto en marcha operaciones logísticas de complejidad alta.

En segundo lugar se realizó una lista de expertos adecuados para participar, y se hizo un ranking de los mismos en función de su idoneidad, siguiendo los criterios para considerar a una persona experta en un tema propuestos por Adler y Ziglio: (1) conocimiento y experiencia en el tema estudiado, (2) capacidad y voluntad de participar, (3) tiempo suficiente para dedicar al estudio, y (4) habilidades de comunicación (Adler and Ziglio. 1996). De esta forma se llegó a una lista de 17 participantes potenciales, que fueron invitados a colaborar contestando a un cuestionario enviado por correo electrónico. El cuestionario fue creado con el fin de recoger las opiniones y críticas de los expertos en cuanto a la utilidad de la herramienta, a su facilidad de uso, y a la adecuación de los conceptos incluidos. A continuación se presentan los 17 expertos contactados (de forma anónima), señalando cargo que ocupan y el sector de la empresa en la que trabajan (ver Tabla 7.1).

Tabla 7.1 Ranking de expertos contactados

Ranking	Cargo que ocupa	Sector de la empresa
1	Gerente	Empresa de soluciones de almacenaje
2	Director técnico	Ingeniería logística de almacenaje
3	Jefe logística	Plataforma logística distribución gran consumo
4	Director de Unidad de negocio	Consultoría logística
5	Director sector Retail	Operador logístico
6	Jefe de logística	Plataforma de distribución de textil
7	Director de logística	Empresa de distribución de herramientas
8	Director de negocio	Ingeniería de software para almacenes
9	Director de proyecto en empresa	Ingeniería logística
10	Directivo	Fabricante y distribuidor de electrodomésticos
11	Director de Innovación	Centro de Excelencia en Logística
12	Jefe logística	Plataforma logística electrodomésticos
13	Jefe logística	Plataforma logística electrodomésticos
14	Jefe de proyecto	Centro de Excelencia en Logística
15	Gestor logístico de componentes	Fabricante de Ascensores
16	Gerente de cadena de suministro	Almacén de recambios
17	Director industrial	Empresa textil de Outdoor

De la lista mostrada en la Tabla 7.1, la tasa de respuesta fue aproximadamente del 60%, logrando que 10 expertos participaran de forma activa en el proceso (los señalados en gris). Según lo detallado en el capítulo 2, un grupo de entre 10 y 15 integrantes es adecuado para componer el panel (Okoli and Pawlowski. 2004). Con estos expertos se completaron dos rondas, siendo necesarios dos cuestionarios para lograr la aceptación general.

Los próximos apartados enseñan el primer cuestionario desarrollado, las sugerencias y comentarios de los expertos, y el segundo cuestionario diseñado para

comprobar si todas las aportaciones habían sido recogidas de forma correcta y si cada uno de los 10 expertos estaba de acuerdo con los comentarios de los otros 9.

Como ya se mencionó en el capítulo 3, la gran ventaja del Estudio Delphi es que los expertos permanecen anónimos entre ellos pero nunca para el investigador. De esta forma es posible contrastar la interpretación de las variables con la persona que ha contestado ese cuestionario, permitiendo el seguimiento, la clarificación y la calidad de la información utilizada en el estudio. Este contraste ha sido necesario para varias respuestas, que fueron analizadas con el experto tanto vía telefónica como de forma presencial, clarificando la aportación para que durante la segunda ronda pudiese ser interpretada correctamente por el resto del grupo.

A lo largo de este capítulo, los expertos serán nombrados de forma anónima y numerados en función del orden en que enviaron sus aportaciones durante la primera ronda. La equivalencia entre esta orden y el ranking de idoneidad se muestra en la Tabla 7.2.

Tabla 7.2 Tabla de equivalencia idoneidad vs número de experto

Ranking de idoneidad	1	3	4	5	6	7	9	10	14	15
Número de Experto	4	7	8	2	10	9	6	3	5	1

7.2. Primera ronda de preguntas

El primer cuestionario comenzaba por una breve introducción a la importancia de los almacenes dentro de la Cadena de Suministro y a la dificultad que supone el proceso de diseño debido al gran número de configuraciones posibles fruto de la combinación de todos los factores involucrados. Luego, el mismo presentaba el Diagrama de estrellas y una serie de preguntas enfocadas evaluar la utilidad de la herramienta y la claridad, el contenido y el orden de los conceptos allí incluidos (ver preguntas en el Anexo 1).

7.3. Aportaciones de los expertos

La herramienta tuvo gran aceptación por parte de los expertos. A continuación se muestran los comentarios relativos a su utilidad para asistir el proceso de diseño, así como también las oportunidades de mejora identificadas.

1. “La herramienta es muy visual y esquemática de tal manera que favorece el aprendizaje. De un “simple” vistazo de las operaciones claves de un almacén así como las diferentes alternativas de diseño”.
2. “La herramienta desarrollada es útil para asistir el proceso de diseño de almacenes”.
3. “Me parece una sistematización de los diferentes aspectos a tener en cuenta para el diseño que cubren los puntos vitales a la hora de diseñar los procesos operativos de un almacén (incluso para tener en cuenta el enfoque estratégico del almacén) Sería útil desarrollar una herramienta que vaya filtrando/dirija las cuestiones a decidir”.
4. “La herramienta puede aportar valor y dar soporte al diseño de almacenes y centros de distribución”.
5. “Es útil para asistir el proceso de diseño de almacenes”.
6. “La herramienta cubre la mayor parte de los parámetros que afectan a un almacén y a su diseño de una forma simple y visual. De todas formas nuevos factores pueden exigir la actualización de la herramienta (un salto tecnológico, cambios en conceptos, cambios en el mercado, etc.)”.
7. “Aborda todos los flujos y procesos necesarios para la creación de un nuevo almacén. Sin embargo, creo que hace falta tener en cuenta las características del producto en algún punto”.
8. “Me parece un muy buen documento que con algunas indicaciones, una persona sin conocimientos previos puede de una manera rápida tener una visión general sobre los conceptos generales para el diseño de almacenes. Cuidado porque la combinación de dos alternativas “simples” puede ser más compleja que dos “compleja”. Debido a la cantidad de parámetros sería útil contemplar (1) la toma de datos, (2) el análisis de la información, (3) el diseño de soluciones y (4) la simulación para el cálculo de rendimientos”.
9. “La herramienta es útil para asistir el proceso de diseño de almacenes”.

10. “Finalmente da una serie de directrices a tomar en cuenta. Será tan válida como se tenga conocimiento de la actividad y datos históricos”.

Las Tablas 7.3, 7.4, 7.5, 7.6 y 7.7 resumen las aportaciones realizadas por los expertos para los cinco procesos de flujo de material. Adicionalmente, recogen los comentarios discutidos con alguno de los expertos en relación a su aportación.

Tabla 7.3 Aportaciones y comentarios: Recepción

Recepción		Comentarios
Experto 2	*Recirculación de stock y devolver proveedor. *EDI / DSADV.	
Experto 3	*Agregaría logística inversa.	
Experto 4	*Separar cross-docking de flujo tenso. *Cambiar rama de Nivel Tecnológico por Recepción Lógica / Lectura. Niveles: Manual (packing list) y Automático (y aquí tecnologías). *Cambiar rama de recepción Lógica por gestión de datos de pedidos (EDI, ingreso automático, ingreso manual). *Recepción física: Automático o manual.	
Experto 5	*Agregaría visión artificial.	
Experto 7	*Agregar logística inversa. *Agregar albarán electrónico. *Agregaría SKU de recepción. *Contemplar la necesidad de acondicionamiento del material recepcionado	Las SKUs de Recepción están contempladas en la Ubicación. Ahí también se incluye la necesidad de acondicionar si las SKUs de la recepción y del almacenaje son distintas
Experto 8	*Separar cross-docking de flujo tenso	
Experto 9	*Agregaría logística inversa.	
Experto 10	*Agregaría logística inversa.	

Tabla 7.4 Aportaciones y comentarios: Ubicación

Ubicación		Comentarios
Experto 3	*Simplificaría.	Se han modificado las estrellas, no simplificado.
Experto 4	<p>*Simplificaría el nivel de automatización... hay muchas alternativas y queda muy recargado incluirlas todas.</p> <p>*Parts to Picker y Picker to Parts son más acertados que la traducción.</p> <p>*Cambiar nombre de rama Nivel Tecnológico por Búsqueda y verificación de hueco.</p> <p>*Separar en una nueva rama la agrupación y clasificación de productos</p>	Se han conservado los términos en inglés: Parts to Picker y Picker to Parts en la Ubicación y en la Preparación. Para mantener la coherencia, se ha dejado esta terminología también en el proceso de Almacenaje.
Experto 5	*En la asignación de operarios a zonas agregar: constante, dinámico y periódico.	
Experto 6	*En lanzamiento de órdenes continuo agregar: secuencial y simultánea.	
Experto 7	*Agregaría necesidad de acondicionar... o puede ponerse en la recepción.	
Experto 8	*Agregaría shuttles, carretilla retráctil y sistemas de navegación por almacén	

Tabla 7.5 Aportaciones y comentarios: Almacenaje

Almacenaje		Comentarios
Experto 1	*Añadir a los SKU los Bastidores a medida.	Se han añadido más opciones de SKUs, aunque no se han incluido específicamente los bastidores a medida.
Experto 2	*½ o ¼ pallets.	
Experto 3	*Añadir rama Control de inventario.	
Experto 4	*El Nivel de automatización lo separaría en Automatizado y No automatizado porque para esta función no hay ningún operario. *Quitar equipos de mantenimiento... porque para almacenaje no se usan. *Agregar algo de control de inventario. *A SKU agregar KIT. *Quitar concepto de valor y cambiar por seguridad como estrategia.	Para mantener la coherencia, se ha dejado la terminología Part to Picker y Picker to Parts también en el proceso de Almacenaje.
Experto 5	*Agregar más estrategias: Primer hueco libre, COI volumen, por familias.	
Experto 6	*Añadir rama Inventario.	
Experto 7	* Características de producto (tamaño, temperatura,...) *Contemplar el ancho de los pasillos. *Agregar otro tipo de estanterías (dinámicas). *Agregar carretilla retráctil.	Los anchos de pasillos necesarios dependen del equipo de mantenimiento seleccionado. Las características del producto se contemplan en un paso previo.
Experto 8	*Agregaría shuttles, carretilla retráctil y sistemas de navegación por almacén *Agregar FIFO, LIFO, FEFO, etc.	
Experto 10	*Conexión visible entre las estrategias de almacenamiento y los demás procesos.	La conexión entre los procesos se ha realizado en base al código de colores.

Tabla 7.6 Aportaciones y comentarios: Preparación

Preparación		Comentarios
Experto 1	*Agregar más equipos de manutención: ingravidos y polipastos	
Experto 2	*Gestión de stock por tienda, por referencia multi-tienda agrupación y ventilación final.	Las opciones de gestión de stock están incluidos pero con otros nombre: Zona de picking sin stock, sort while pick...
Experto 3	*Simplificaría.	Se han modificado las estrellas, no simplificado.
Experto 4	*Mismas sugerencias que para Ubicación en cuanto al nivel de automatización y a los términos en inglés. *Cambiar nombre de rama Nivel Tecnológico por Búsqueda y verificación de hueco. *Hacer una rama aparte que contemple la agrupación de órdenes y la clasificación. *Conservar términos en inglés (Parts to Picker...)	Se han conservado los términos en inglés: Parts to Picker y Picker to Parts en la Ubicación y en la Preparación.
Experto 5	*En la asignación de operarios a zonas agregar: constante, dinámico y periódico.	
Experto 6	*En lanzamiento de órdenes continuo agregar: secuencial y simultánea.	
Experto 7	*Separar recoge-pedidos nivel suelo o en altura.	
Experto 8	*Agregaría shuttles, carretilla retráctil y sistemas de navegación por almacén.	
Experto 9	Reaprovisionar la zona de picking: *Espacio en picking. *Capacidad estacional de las plantas. *Almacén multi-regional: stock adaptativo.	Ya está contemplada la opción de reaprovisionamiento. Se han incluido dos alternativas: reaprovisionamiento continuo y reaprovisionamiento discreto.

Tabla 7.7 Aportaciones y comentarios: Expedición

Expedición		Comentarios
Experto 4	*Separar cross-docking de flujo tenso. *Lo del uso de un software específico lo pondría en una rama llamada Mosaico de carga (sin software o con). *Otra rama de tipología de carga con grupaje o carga completa (mono-destino o multi-destino).	
Experto 5	*Agregaría visión artificial.	
Experto 7	*Gestión de pedidos. *Agregar tipo de transporte. *Agregar a destino del pedido. *Agregaría necesidad de acondicionar	Se incluye la necesidad de acondicionar los productos si en el almacenaje y la preparación no se utilizan realizan las mismas SKUs
Experto 8	*Separar cross-docking de flujo tenso	
Experto 10	*Gestión de pedidos.	

7.4. Mejoras realizadas al Diagrama de estrellas

Gracias a los comentarios enviados por los expertos, fue posible mejorar la herramienta en los aspectos detallados a continuación.

Para el proceso de Recepción:

1. Se incluyó el concepto de logística inversa, agregando la rama "Origen y tipo de producto" en la cual se contemplan el Flujo desde el proveedor (directo) como el Flujo desde el cliente (inverso).
2. Se realizó una distinción entre el cross-docking por pedido (sin stock, sin manipulación) y el cross-docking por artículo (sin stock, con manipulación) en la rama "Gestión de stocks". Esto es importante ya que varios expertos

consideraron que era necesario aclarar mejor estos dos conceptos, separándolos y detallando la necesidad de manipulación para evitar confusiones entre ambos términos.

3. Se cambió la rama “Recepción Lógica” por “Gestión de datos de pedidos” en la cual se incluyeron tres niveles: Manual, Informática y Pre-recepción de pedido (albarán electrónico mediante EDI o intercambio electrónico de datos).
4. Se sustituyó la rama “Nivel tecnológico” por “Recepción lógica/ Lectura” para hacer referencia al modo en el cual se lleva a cabo la función de lectura o entrada de los artículos recepcionados. En la misma se distinguieron dos niveles: Automático, el cual incluye las diferentes formas de lectura utilizando tecnología (código de barras, RFID, y la visión artificial, esta última considerando el aporte de uno de los expertos) y Manual, empleando papel.

Para el proceso de Ubicación:

1. Se cambió el nombre a la rama “Ubicación o preparación agrupada” por “Ciclos combinados” para hacer referencia únicamente al aprovechamiento de los viajes en vacío de estos dos procesos.
2. Se mantuvo la terminología en inglés referente al “Nivel de automatización” (Parts to Picker y Picker to Parts), ya que la traducción empleada daba lugar a interpretaciones erróneas.
3. Se cambió la rama “Nivel tecnológico” por “Búsqueda y verificación de hueco” para hacer referencia a la función, mientras que la tecnología empleada para la misma fue incluida en los niveles: Con tecnología y Sin tecnología.
4. Se añadieron los subniveles Simultánea y Secuencial al nivel Continua de la rama “Modo de lanzamientos de órdenes” para distinguir cuando las órdenes que se lanzan de forma paralela (la primera) o si a pesar de ser continuas se lanzan con una determinada secuencia (la segunda).
5. Se incorporaron a la rama “Asignación de operarios a zonas” los conceptos: Constante, Dinámico y Periódico.

Para el proceso de Almacenaje:

1. Se han incorporado las opciones de almacenar tanto pallets enteros como $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{4}$ pallets, así como también en contenedores o en Kits⁵.
2. Se ha añadido la rama “Control de inventario” para poder contemplar tanto un control Manual como uno Automático (Continuo o Periódico).
3. Se agregaron cuatro nuevas estrategias de almacenaje: Primer hueco libre, según el volumen de salida COI, según criterios de entrada y salida (FIFO, LIFO, FEFO, etc.) y se ha separado la asignación por familias de la asignación por clases.
4. Se ha cambiado el concepto Valor por Seguridad para hacer referencia a los criterios de Zonificación empleados en almacenes para proteger o separar del resto de productos a aquellas referencias costosas o peligrosas.

Para el proceso de Preparación:

1. Se separó el concepto “Agrupación de órdenes y clasificación” del de “Ubicación o preparación agrupada”, creándose una rama específica en el proceso de Preparación, contemplando los niveles: Por pedido, Por zona y Por artículo.
2. Se cambió el nombre a la rama “Ubicación o preparación agrupada” por “Ciclos combinados” para hacer referencia únicamente al aprovechamiento de los viajes en vacío de estos dos procesos.
3. Se mantuvo la terminología en inglés referente al nivel de automatización (Parts to Picker y Picker to Parts), ya que la traducción empleada daba lugar a interpretaciones erróneas.
4. Se cambió la rama “Nivel tecnológico” por “Búsqueda y verificación de hueco” para hacer referencia a la función, mientras que la tecnología empleada para la misma fue incluida en los niveles: Con tecnología y Sin tecnología.

⁵ Sin embargo, para la clasificación de la complejidad se seguirán contemplando los tres tipos de unidades de almacenaje más comunes: Pallet, Caja y Unidad.

5. Se añadieron los subniveles Simultánea y Secuencial al nivel Continua de la rama “Modo de lanzamientos de órdenes” para distinguir cuando las órdenes que se lanzan de forma paralela (la primera) o si a pesar de ser continuas se lanzan con una determinada secuencia (la segunda).
6. Se incorporaron a la rama “Asignación de operarios a zonas” los conceptos: Constante, Dinámico y Periódico.

Para el proceso de Expedición:

1. Se agregó la rama “Tipología de carga” para incluir los conceptos: Carga completa (camión lleno con mono-destino o multi-destino) o Grupaje.
2. Se añadió la rama “Mosaico de carga” para distinguir la definición del mosaico de carga: Sin software, Con software básico (cálculo volumétrico con criterios de apilamiento) y Con software avanzado (cálculo volumétrico con criterios de apilamiento y cálculo de secuencia de carga según lugar de descarga).
3. Se incluyó el concepto de logística inversa, agregando la rama “Origen y tipo de producto” en la cual se contemplan el flujo desde proveedor (directo) como el flujo desde el cliente (inverso).
4. Se realizó una distinción entre el cross-docking por pedido (sin stock, sin manipulación) y el cross-docking por artículo (sin stock, con manipulación) en la rama “Gestión de stocks”. Esto es importante ya que varios expertos consideraron que era necesario aclarar mejor estos dos conceptos, separándolos y detallando la necesidad de manipulación para evitar confusiones entre ambos términos.
5. Se cambió la rama “Expedición Lógica” por “Gestión de datos de pedidos” en la cual se incluyeron tres niveles: Manual, Informática y Pre-recepción de pedido (albarán electrónico mediante EDI o intercambio electrónico de datos).
6. Se sustituyó la rama “Nivel tecnológico” por “Expedición lógica/ Lectura” para hacer referencia al modo en el cual se lleva a cabo la función de lectura o entrada de los artículos recepcionados. En la misma se distinguieron dos niveles: Automático, el cual incluye las diferentes formas

de lectura utilizando tecnología (código de barras, RFID, y la visión artificial, esta última considerando el aporte de uno de los expertos) y Manual, empleando papel.

A continuación se exponen algunos comentarios generales relacionados con ciertas sugerencias realizadas por algunos expertos en cuanto a la mejor forma de utilizar la herramienta desarrollada.

En primer lugar, se ha sugerido la posibilidad de ir agregando filtros para poder ayudar al diseñador a seleccionar la mejor alternativa (Experto 3). En relación con este punto, hay que aclarar que **con esta herramienta se recopilan mejores prácticas, estratificadas en función del nivel de complejidad del almacén, con el fin de asistir durante el proceso de diseño**. No se ha realizado en forma de filtros, sino en forma de casos que ejemplifican alternativas de diseño que han posibilitado altos niveles de servicio (plazo, calidad,...).

Adicionalmente se mencionó la necesidad de incluir en el diagrama de estrellas una serie de pasos necesarios para llevar a cabo el diseño (Experto 8). **Esta herramienta es un soporte incluido en una metodología de diseño general**. Dicha metodología incluye diversos pasos: la recopilación de datos, el análisis de los mismos, el mapeo de la complejidad del almacén, la identificación de mejores prácticas y la simulación y experimentación para obtener un diseño ajustado, robusto y flexible.

Adicionalmente se menciona que la combinación de dos alternativas “simples” puede ser más compleja que dos “complejas” (Experto 8). De cualquier forma, la herramienta permite ver en cada rama las alternativas ordenadas según un criterio de sofisticación.

En relación a **las características del producto** (Experto 7), las mismas **se contemplan previamente** para definir la zonificación del almacén (**temperatura, química, tamaño, seguridad...**). De esta forma se obtiene almacenes híbridos.

Por otra parte, **se pretende ir actualizando la herramienta** a medida que se desarrollen nuevas tecnologías, formas organizativas, etc., para que la misma siga teniendo validez con el pasar del tiempo (Experto 6). De la misma forma, en futuras investigaciones, se espera ir nutriendo la recopilación de mejores prácticas con más ejemplos de almacenes con altos rendimientos.

7.5. Segunda ronda de preguntas

Luego de mejorar el diagrama de estrellas con las aportaciones realizadas por los expertos, se les envió un segundo cuestionario con el fin de validar el nuevo contenido de la herramienta. Las preguntas allí incluidas pretendían recoger comentarios relacionados a los cambios realizados a la versión original del Diagrama de estrellas, o bien incluir nuevas aportaciones que no hayan sido recogidas hasta el momento (ver preguntas en el Anexo 1).

7.6. Diagrama de estrellas mejorado y validado

El segundo cuestionario ratificó el nuevo Diagrama de estrellas, mostrado a continuación, después de haber sido sometido a un proceso de mejora y validación en el cual participaron 10 expertos en diseño de almacenes.

La Figura 7.1 presenta las alternativas de diseño para los cinco procesos de flujo de material, mientras que las Figuras 7.2, 7.3 y 7.4 muestran los procesos de Almacenaje, Recepción y Expedición, y Ubicación y Preparación respectivamente.

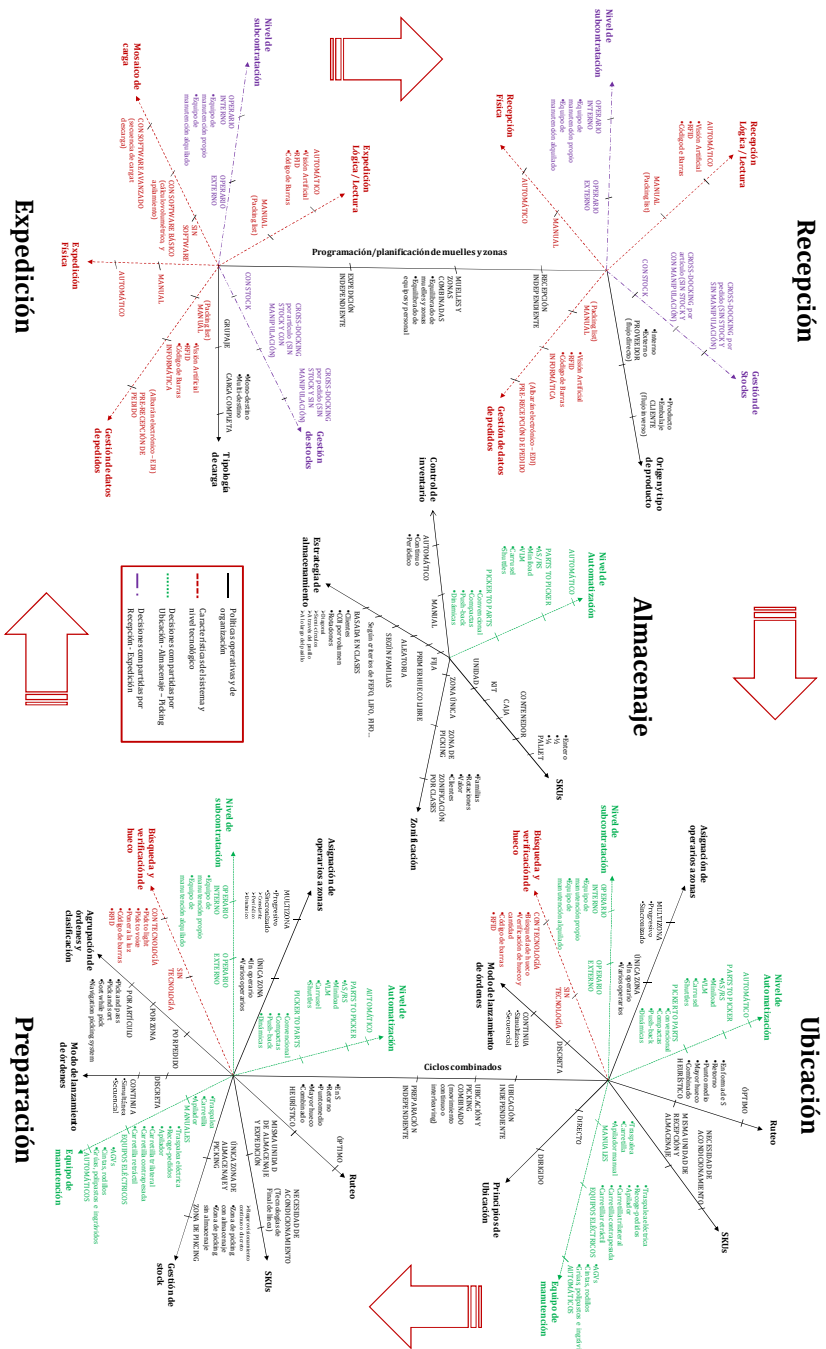


Figura 7.1 Alternativas de diseño: los cinco procesos de flujo de material



Almacenaje

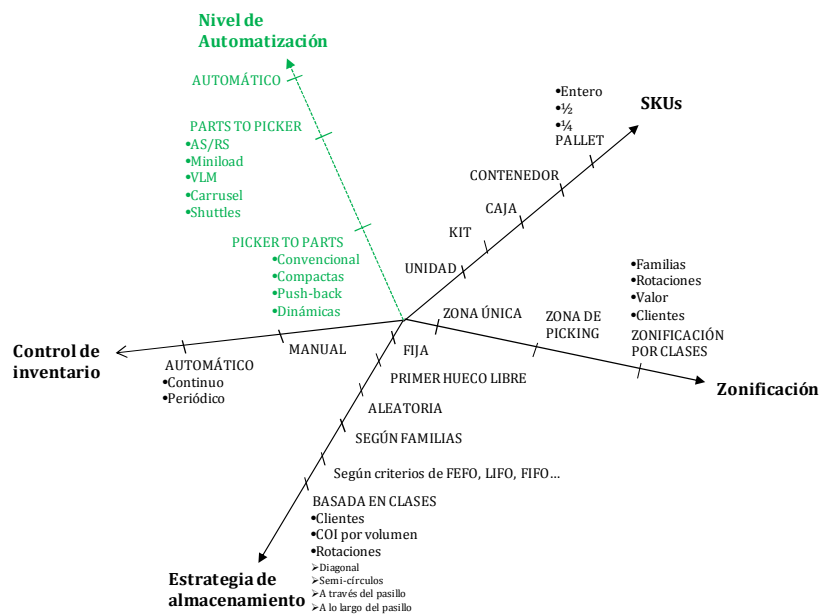


Figura 7.2 Alternativas de diseño: almacenaje

Recepción

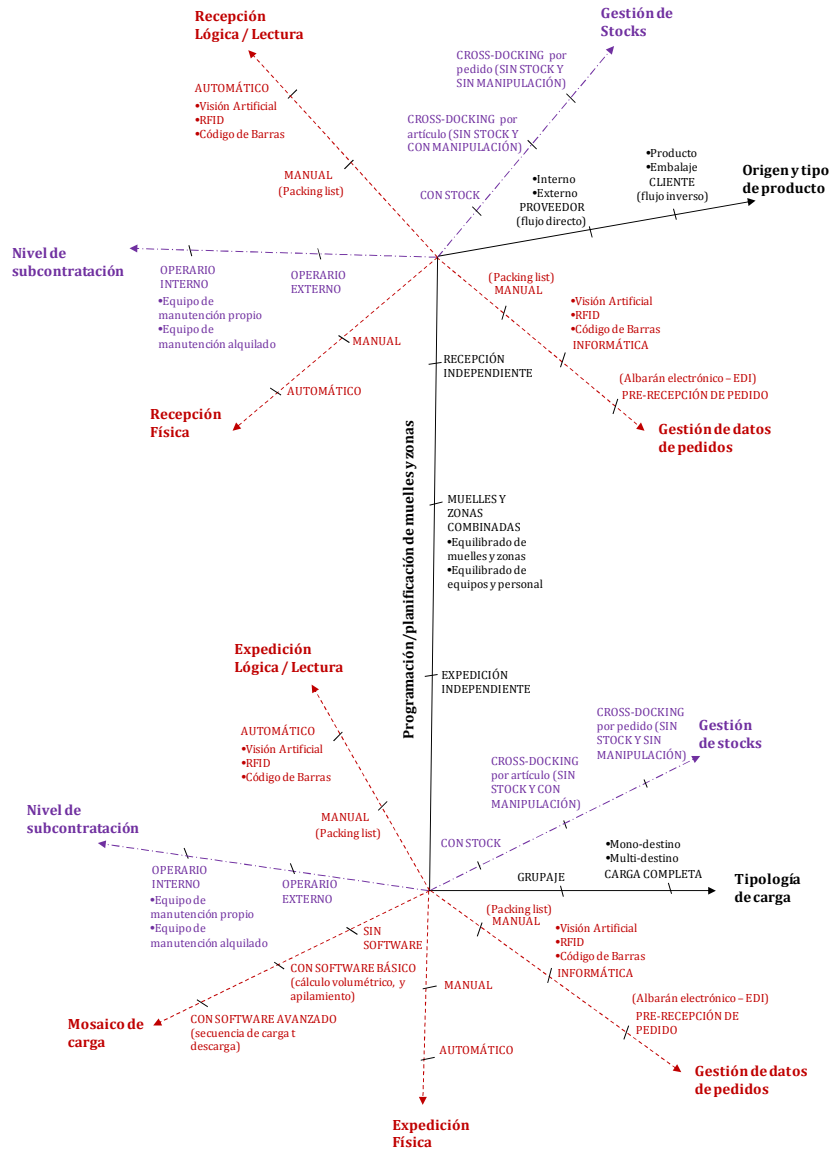


Figura 7.3 Alternativas de diseño: recepción y expedición

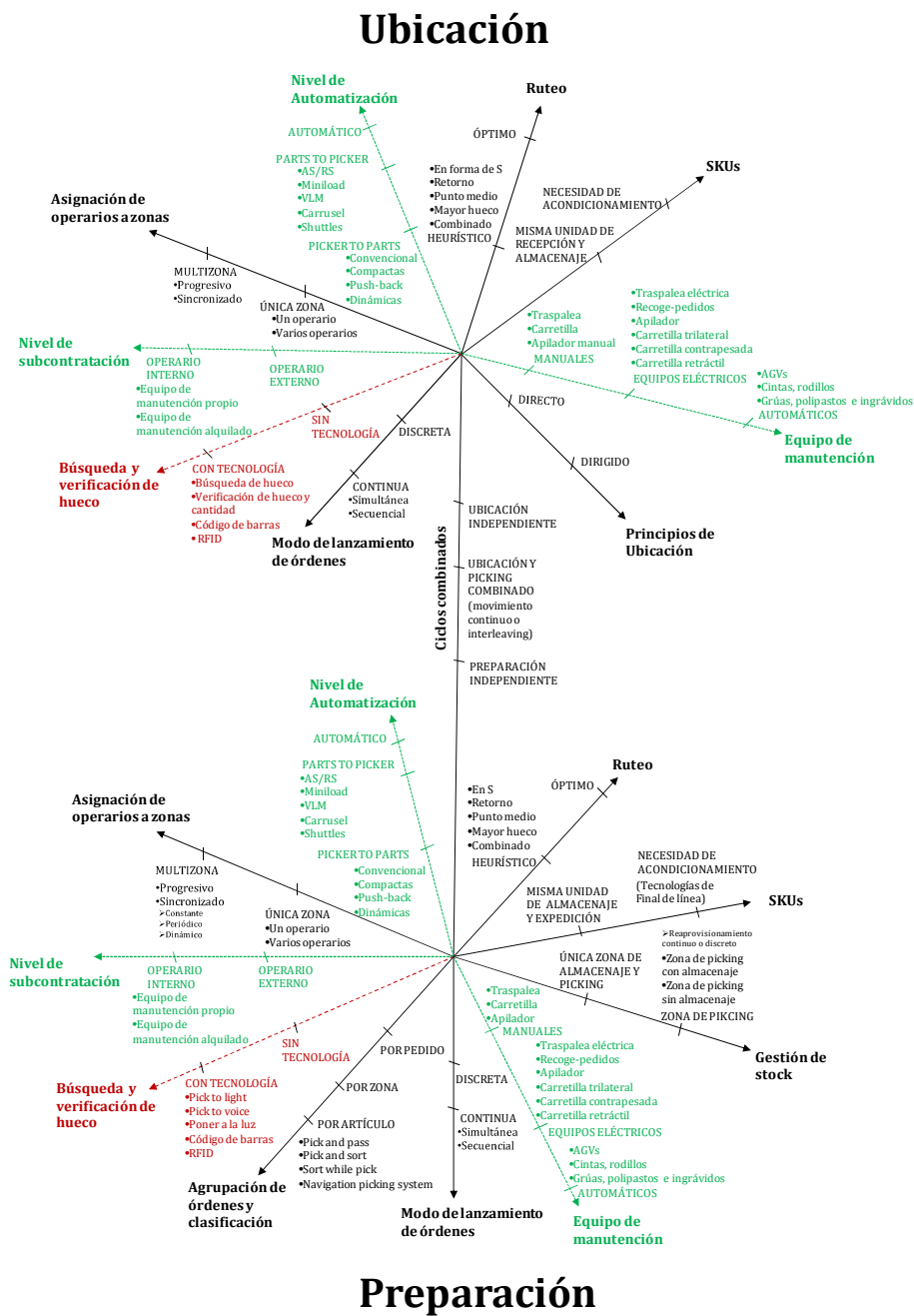


Figura 7.4 Alternativas de diseño: ubicación y preparación

7.7. Modelos de referencia recolectados

Algunos expertos colaboraron con la recolección de modelos de referencia, proporcionando datos de soluciones de diseño que han ideado o visto, y que desde su punto de vista pueden considerarse excelentes.

A continuación se listan dichos modelos de referencia, los cuales se incluyen de forma detallada en el Anexo 2.

1. Caso Sector Gran Consumo, almacén de producto terminado
2. Caso Sector Repuestos de maquinaria, almacén de componentes
3. Caso Sector Elevación - Movilidad, almacén de producto terminado
4. Caso Sector Bienes industriales, almacén de producto terminado
5. Caso Sector Bienes industriales, almacén de producto terminado
6. Caso Sector Gran Consumo, almacén de producto terminado

7.8. Conclusiones

El estudio Delphi realizado ayudó a la mejora y validación de la nueva herramienta desarrollada para la configuración de los procesos de flujo de material en almacenes, durante la etapa de diseño. Para ello se llevaron a cabo dos rondas de preguntas, siendo necesario desarrollar dos cuestionarios que incluyeron preguntas relacionadas con el formato de la herramienta y los conceptos allí contemplados. Se comprobó que el Diagrama de estrellas resulta útil para la visualización de las múltiples alternativas existentes, siendo claro, conciso y completo. **De esta forma se mejoró el segundo resultado (R2), completando la contribución al objetivo O2.**

Adicionalmente, el contacto con los expertos que participaron en el estudio Delphi permitió la recopilación de diseños de almacenes, o modelos de referencia, para seis niveles de complejidad. Dichos diseños serán utilizados como guía para el diseñador al definir qué configuraciones pueden resultar adecuadas para la complejidad de su almacén y el nivel de rendimiento que desea alcanzar. **Los mismos contribuyen de forma parcial a completar el objetivo O4.**

Capítulo 8.

Casos de investigación en acción

En este capítulo se detallan los cinco casos de Investigación en Acción llevados a cabo para analizar la implementación de las mejores prácticas en almacenes, con el fin de incluirlas como modelos de referencia para que sirvan como guía práctica en el paso de análisis de la metodología de diseño propuesta en el capítulo 6. Dichos modelos de referencia complementan los ya recopilados en el estudio Delphi (incluidos en el capítulo 7) conformando el cuarto resultado de esta investigación (R4) y contribuyendo al cuarto objetivo planteado (O4). Adicionalmente se evalúa la utilidad de la Simulación de Eventos Discretos y del Diseño de Experimentos como herramientas para asistir el proceso de diseño, generando nuevos modelos de referencia, que podrían ser validados con casos reales en el futuro. De esta forma se contribuye con la consecución de quinto objetivo (O5).

8.1. Selección de casos

Como se vio en el apartado *1.1.1 Procesos de flujo de material*, se conoce como flujo de materiales al movimiento de, al menos, uno de los tres elementos básicos de las operaciones logísticas (material, mano de obra o máquina).

La mayoría de los flujos directos de materiales (y algunos indirectos) siguen una secuencia de procesos, denominados procesos de flujo de material: recepción, ubicación, almacenaje, preparación y expedición. Otros flujos, excluyen alguno de estos pasos, o incorporan otras tareas más específicas que agregan valor: kitting, etiquetado, embalaje personalizado, ensamblaje de productos u órdenes, y/o paletización. Alguna vez, además, puede ser necesario incluir actividades intermedias de acondicionamiento de productos en función de la heterogeneidad entre las SKUs (*Stock Keeping Units*) recepcionadas, almacenadas y expedidas.

Dado que todas las operaciones dedicadas a la manutención son improductivas, **a la hora de diseñar un almacén eficiente hay que intentar, en la medida de lo posible, simplificar el flujo** eliminando algunos de los procesos de flujo de material mencionados, **y eliminar o reducir los movimientos de material, mano de obra y máquinas innecesarios**. Para esto Tompkins sugiere las siguientes mejores prácticas (Tompkins et al. 2010):

1. Zonificar el almacén.
2. Definir la estrategia de almacenaje adecuada.
3. Realizar preparaciones agrupadas.
4. Mecanizar o automatizar la manutención.
5. Eliminar viajes en vacío.
6. Hacer flujo tenso o cross-docking.

En la bibliografía hay disponibles trabajos de investigación que comparan diferentes operativas, algunas sugeridas por Tompkins et al. Ejemplos de estos trabajos serán descritos a continuación.

Petersen y Aase estudiaron el efecto que tenían en el tiempo total de preparación diferentes combinaciones de métodos de ruteo, estrategias de almacenaje y formas

de agrupación de pedidos. Para ello desarrollaron un modelo de simulación que consideraba tamaños fijos de orden en un sistema manual. Los autores recomiendan a los gerentes realizar preparaciones agrupadas en combinación con una estrategia de almacenaje por clases. Afirman que el tiempo que se ahorra mediante un método de ruteo sofisticado no es comparable con los ahorros obtenidos al seleccionar una estrategia almacenaje correcta o al realizar preparaciones agrupadas (Petersen and Aase. 2004).

Manzini et al., también analizan estas estrategias utilizando DoE en un modelo de simulación pero, contrariamente, concluyen que el método de ruteo es el factor más crítico si se intenta reducir el tiempo de preparación (Manzini et al. 2007).

Petersen II también centró su investigación en almacenes manuales, pero él examinó la interacción de los métodos de ruteo y la forma del almacén bajo diferentes condiciones de operación representadas mediante el tamaño de los pedidos. Un DoE fue llevado a cabo con estos factores, dejando fija la forma de agrupar los pedidos en base al estudio realizado en 2004 (Petersen and Aase. 2004). Concluyen que el ahorro obtenido con métodos de ruteo sofisticados no justifica su utilización, sugiriendo la implementación de los métodos más simples: En forma de S y Retorno (Petersen II. 1997).

Otros autores realizaron estudios similares mediante la aplicación de diseño de experimentos y / o técnicas de simulación con el fin de identificar los factores que afectan el desempeño de sistemas más automatizados (Manzini et al. 2006, Ekren et al. 2010).

A pesar que estos trabajos de investigación pueden orientar la selección de ciertas operativas, estos estudios analíticos aún resultan escasos para guiar al diseñador durante el proceso de diseño.

Por este motivo, en esta tesis doctoral se realizaron **cinco casos de Investigación en Acción (IA) con el fin de analizar la implementación de las mejores prácticas propuestas por Tompkins y de evaluar la utilidad de la Simulación de Eventos Discreto (DES) y del Diseño de Experimentos (DoE)**. Ante la imposibilidad de realizar casos para los 81 niveles de complejidad identificados en el capítulo 6, principalmente por una limitación de tiempo, se pretende demostrar que mediante la utilización del DES y el DoE es posible asistir en el proceso de diseño de almacenes,

hasta que el archivo con modelos de referencia se complete con futuras investigaciones.

Por lo tanto, lo detallado en este capítulo no sólo contribuye a cumplir los objetivos principales de esta tesis doctoral, sino también a alcanzar el objetivo secundario, formulados en el capítulo 1.

Cabe destacar que, dadas las necesidades de los almacenes seleccionados para llevar adelante la IA, en cada caso se ha implementado una o más de una de las mejores prácticas sugeridas por Tompkins et al. Sin embargo, todos los casos han sido necesarios para poder implementar las seis.

La Tabla 8.1 sintetiza las mejores prácticas implementadas en cada caso y las herramientas utilizadas para conseguirlo.

Tabla 8.1 Mejores prácticas implementadas según caso de IA

Mejores prácticas - Herramientas	Mini-doméstico	Línea blanca	Ascensores	Parafarmacia	Equipos de manutención
Zonificar almacén				x	
Almacenar según estrategia adecuada	x			x	
Realizar preparaciones agrupadas	x		x	x	
Mecanizar o automatizar manutención			x		
Eliminar viajes en vacío		x			
Flujo tenso o cross-docking					x
DoE				x	
DES	x		x	x	

En las reuniones previas a comenzar cada caso de IA, las empresas mostraron interés en mejorar sus operativas implementando algunas de las mejores prácticas señaladas por Tompkins et al. (Tompkins et al. 2010).

8.2. Prueba piloto

Antes de testear la utilidad del Diseño de Experimento (DoE) y de la Simulación de Eventos Discretos (DES) para asistir el proceso de diseño de almacenes reales, se utilizó la maqueta de un almacén Parts to Picker y un modelo de simulación desarrollado con el programa Enterprise Dynamic. En este punto de la investigación se contó con la colaboración del Instituto Tecnológico de Aragón.

Las Figuras 8.1 y 8.2 muestran la maqueta y una imagen del modelo de simulación desarrollado considerando los elementos de la maqueta.



Figura 8.1 Foto de la maqueta

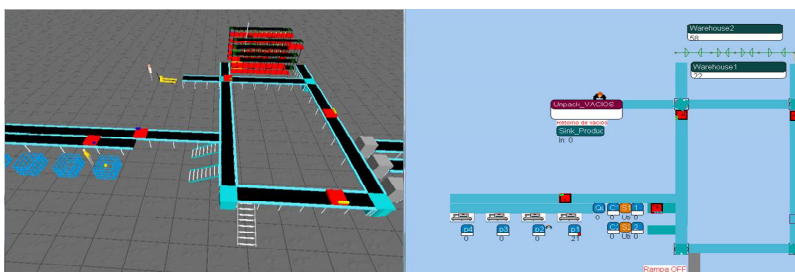


Figura 8.2 Pantalla ejemplo del modelo de simulación, vistas 3D y 2D

Se ha utilizado la metodología de DoE propuesta por Tanco et al., (Tanco et al. 2009) cuyas secuencia de actividades se basa en una adaptación de la metodología de Seis Sigma DMAIC: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (Pande et al. 2005).

En primer lugar, los experimentos han sido llevados a cabo en el modelo DES desarrollado (ver Figura 8.2). Se ha modelado el sistema Parts to Picker, formado por un camino de rodillos de evacuación, un transelevador, una calle de entrada y otra de salida conectada a cuatro puestos de preparación a través de transportadores motorizados. Adicionalmente, el modelo cuenta con un sistema de control y registro de información y resultados, operando como el sistema de gestión de almacenes (SGA). Cabe destacar que los tiempos incurridos en el circuito de manutención no son determinísticos, sino que responden a una distribución de probabilidad. Este dato es importante, que ya que al repetir los experimentos con las mismas condiciones, el tiempo de preparación variará simulando lo que sucedería en el sistema real.

Se ha seleccionado un diseño factorial de dos niveles (2^k), ya que estos diseños incluyen todas las combinaciones posibles entre los niveles de cada factor y son muy eficientes (Tanco et al. 2009). Se simularon preparaciones realizadas por pedido y otras por artículo, para poder hacer una comparativa bajo diferentes escenarios de demanda representados por pedidos con distinto número de líneas y cantidades por línea. También se simularon dos estrategias de almacenaje: caótica y según clases.

Se utilizó el Análisis de Varianza (ANOVA), un método estadístico preciso y formal para saber qué factores influían significativamente en el tiempo de preparación (respuesta seleccionada para el DoE realizado). Para ello se usó el software de análisis de datos Minitab® 15.

Los resultados coinciden con las recomendaciones realizadas por Petersen y Aase en un sistema manual, donde sugieren realizar preparaciones agrupadas en combinación con una estrategia de almacenaje por clases (Petersen and Aase. 2004).

A continuación, se validó el modelo de simulación comprobando que realmente funcionó según lo esperado, y que los resultados obtenidos a partir de él son lo suficientemente buenos para considerarlos como una representación del sistema de preparación de pedidos en estudio. Con este objetivo en mente, el mismo proceso de experimentación se llevó a cabo en el sistema real y se compararon los resultados con los del modelo. La desviación absoluta media (MAD) de todo el conjunto de experimentos se calculó, resultando en un nivel aceptable de menos del 6%.

Por lo tanto, con este caso se ha demostrado que el DoE ayudado por la DES es una combinación de herramientas útil para el diseño de los procesos de flujo de material del almacén, resultando una forma fácil de reducir los costes de

experimentación. Ambas se sugieren como herramientas adecuadas para lograr no sólo un alto nivel de rendimiento, sino también flexibilidad y robustez.

8.3. Casos de Investigación en Acción

Existen diferentes formas de investigar cuando se lleva a cabo una IA. Una de ellas es la que Coughlan y Coghlan denominan "*confrontive inquiry*". Esta forma implica que el investigador, compartiendo su propia experiencia, muestre a los demás una nueva perspectiva: ¿has pensado en hacer esto? ¿Has contemplado X como solución? En este caso, las capacidades del investigador se van desarrollando a medida que compromete a los miembros del equipo cliente a identificar problemas, diagnosticar las posibles causas, planificar, implementar y evaluar la acción y aprender de esa experiencia (Coughlan and Coghlan. 2002). Los cinco casos desarrollados tienen como factor común la implementación de alguna de las mejores prácticas (Tompkins et al. 2010), por lo que antes de comenzar se formularon las siguientes preguntas:

1. ¿Se ha considerado zonificar el almacén?
2. ¿Se han analizado las estrategias de almacenaje más productivas?
3. ¿Se ha pensado en realizar preparaciones agrupadas?
4. ¿Existe interés en mecanizar o automatizar la manutención?
5. ¿Es posible eliminar viajes en vacío?
6. ¿Es adecuado hacer flujo tenso o cross-docking?

El investigador ha guiado a las empresas en base a los conocimientos adquiridos en la bibliografía, con el fin de lograr que se consideren nuevas alternativas que puedan aumentar su rendimiento. Cada empresa seleccionó, en función de sus necesidades y objetivos, una o más de las mejores prácticas identificadas (ver Tabla 8.1). A continuación se describen los cinco casos realizados.

8.3.1. Caso 1: Distribuidor de electrodomésticos, mini-doméstico

El primer caso se ha llevado a cabo en la plataforma de distribución de una empresa dedicada a la fabricación de electrodomésticos, específicamente en el almacén de mini-doméstico. Previo a esta investigación, todos los productos se almacenaban en pallets en un almacén convencional y con una estrategia de almacenaje por familias, para facilitar la consolidación de pallets multi-referencia. La preparación se realizaba por orden utilizando traspaleas eléctricas. En las primeras reuniones, debido a un marcado ABC de salidas, **se analizó la posibilidad de: (1) Definir la estrategia de almacenaje adecuada y (2) Realizar preparaciones agrupadas.**

Para hacer la comparación de distintas estrategias de almacenaje y de formas de agrupar los pedidos, se obtuvieron los datos de pedidos en tres escenarios (demanda baja, media y alta, así) y de las ubicaciones de todos los productos, de las distancias verticales y horizontales a la zona de clasificación, y el maestro de artículos completo (Figura 8.3).

	A	B	C	D	F	N	P	Q	R
	DIA	Dia semana	CARGA	ARTREF	LIBREF	Cantidad servida	VOLUNIT (dm3)	CAJAS	Volumen
19	22/10/2010 8:39	22	138750411	TDS3520	1R31900	8	89.79	4	359.2
20	22/10/2010 8:39	22	138750411	BMS1200	1R35100	5	87.76	5	438.9
21	22/10/2010 8:39	22	138750411	TAT601	1R38100	8	85.51	2	167.0
22	22/10/2010 8:39	22	138750411	MSM67PE	1Q30400	98	56.70	8	453.6
23	22/10/2010 8:39	22	138750411	B5GL52322	1Q32400	6	69.26	6	415.6
24	22/10/2010 8:39	22	138750411	PPF2032	1Q36500	6	70.96	3	215.9
25	22/10/2010 8:39	22	138750411	BBHMOVE1	1G30900	4	35.97	4	155.8
26	22/10/2010 8:39	22	138750411	EX11800	1G31400	20	49.50	20	990.0
27	22/10/2010 8:39	22	138750411	MCM4100	1G32400	6	45.84	6	275.6
28	22/10/2010 8:39	22	138750411	TDS1606	1G34300	20	34.66	20	693.2
29	22/10/2010 8:39	22	138750411	MAS4201	1N32000	4	33.74	1	33.7
30	22/10/2010 8:39	22	138750411	TD40830	1N32400	16	32.83	4	131.3
31	22/10/2010 8:39	22	138750411	BS03300	1N32700	20	45.57	20	911.4
32	22/10/2010 8:39	22	138750411	MAS5200	1N33200	10	31.87	10	318.7
33	22/10/2010 8:39	22	138750411	PPF5030	1N33800	24	30.68	6	184.1
34	22/10/2010 8:39	22	138750411	PPF9230	1N34200	20	23.20	5	116.0
35	22/10/2010 8:39	22	138750411	TD5115	1N35700	8	33.17	2	66.3
36	22/10/2010 8:39	22	138750411	PPF1138	1N37500	12	22.57	3	67.7
37	22/10/2010 8:39	22	138750411	PHC2520	1M30800	24	14.76	6	88.6
38	22/10/2010 8:39	22	138750411	PH52900	1M31300	24	10.56	4	42.2
39	22/10/2010 8:39	22	138750411	PPF2036	1M32000	24	15.23	6	81.4
40	22/10/2010 8:39	22	138750411	MMRGR1	1M32400	24	10.90	24	259.2
41	22/10/2010 8:39	22	138750411	MIM6000	1M32600	16	8.80	4	35.2
42	22/10/2010 18:19	22	138751411	TT7360	1Q30300	24	58.50	6	351.0
43	22/10/2010 18:19	22	138751411	SD3400	1Q33600	12	59.31	4	237.2
44	22/10/2010 18:19	22	138751411	PV1483	1Q34200	12	58.80	2	111.6
45	22/10/2010 18:19	22	138751411	V50A2922	1Q37500	100	49.60	28	1388.8
46	22/10/2010 18:19	22	138751411	PV1305	1G30400	36	44.59	6	267.5
47	22/10/2010 18:19	22	138751411	PHM460	1M30100	36	14.47	6	86.8
48	22/10/2010 7:47	22	138753311	OS7232	1R30700	16	83.72	4	334.9

Figura 8.3 Datos de pedidos en tres escenarios

Se comprobó con el encargado del almacén que los datos recopilados de las distintas bases de datos fuesen coherentes para poder ser utilizados para el análisis.

A continuación se analizó toda la información y se plantearon tres alternativas para seleccionar la solución con mayor ahorro de distancia recorrida y, por tanto, de tiempo dedicado a la preparación. Las alternativas comparadas se muestran a continuación:

- Estrategia según clases ABC vs. Estrategia según familias
- ABC a través del pasillo vs. ABC a lo largo del pasillo (ver Figura 8.4)
- Preparación por artículo (agrupada) vs. Preparación por pedido

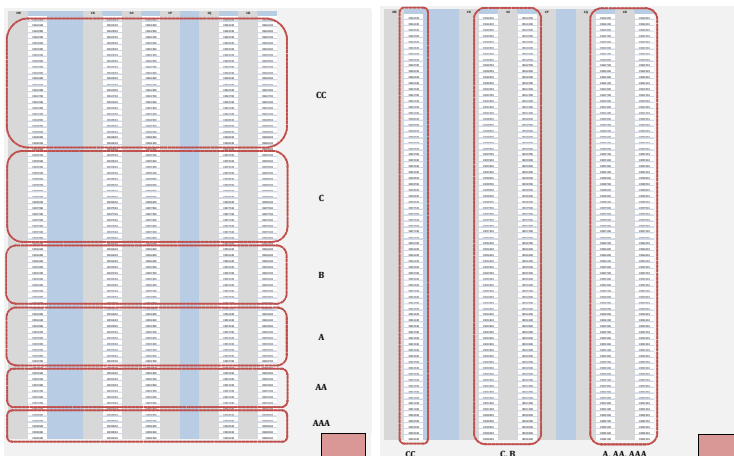


Figura 8.4 A través del pasillo (izquierda) and A lo largo del pasillo (derecha)

Para poder realizar este análisis se construyó un modelo de **DES** utilizando el software comercial AnyLogic 6.5.0 University Researcher. Para dicho modelo se utilizó un Layout a escala de las instalaciones y se fijaron las siguientes características:

- Número de pasillos: 6
- Ubicaciones por pasillos: 144
- Método de ruteo: Retorno
- Clases: AAA, AA, A, B, C y CC
- Patrones de demanda: basado en número de órdenes, líneas y cantidades
- Velocidad horizontal del preparador: 80 metros/minuto
- Capacidad del pallet: 1400 dm³
- Todas los huecos tienen el mismo tamaño

Un ejemplo del modelo de simulación desarrollado se muestra en la Figura 8.5.



Figura 8.5 Modelo de simulación, vista 3D para el primer caso

El análisis incluyó tanto la clasificación de las referencias según un ABC de salidas, así como el cálculo de distancias implementando las diferentes alternativas de diseño. Los datos de demanda utilizados corresponden a tres escenarios diferentes: demanda baja, media y alta. Se llegó a los resultados resumidos en la Tabla 8.2.

Tabla 8.2 Comparación de alternativas

Estrategia de almacenaje	ABC	Agrupación de órdenes	Distancia recorrida	Mejora
Por Familias	-	Por pedido	46.191 m/día ²	-
Según ABC	A lo largo del pasillo	Por pedido	45.570 m/día ²	1,4%
Según ABC	A través del pasillo	Por pedido	40.561 m/día ²	14%
Según ABC	A través del pasillo	Por artículo ¹	39.724 m/día ²	16%

¹ Combinado: Preparación de referencias AAA, AA y A por artículo, y de B, C y CC por pedido

² La distancia real ha sido multiplicada por un factor, para mantener la confidencialidad de los datos

Como se muestra en la Tabla 8.2, realizando una preparación agrupada para los artículos de mayor rotación y una preparación por pedido para los artículos con menos salidas (en combinación con una estrategia de almacenaje por clase

implementado a través del pasillo) se obtiene un ahorro potencial del 16% de la distancia recorrida durante la preparación.

El modelo de simulación fue útil para identificar qué estrategia de almacenaje era la más adecuada y para analizar la mejor forma de agrupar los pedidos. Estos resultados dieron lugar a un plan de implementación, a partir del cual se obtuvo una productividad de 500 líneas a la hora y una calidad medida de menos de 1% de líneas de pedido con retraso, menos de 1% de líneas de pedido y menos del 0,1% de líneas con errores. Tanto la tabla de complejidad como el Diagrama de estrellas mostrando la configuración implementada se incluyen en el Anexo 2, en el apartado A7.

8.3.2. Caso 2: Distribuidor de electrodomésticos, línea blanca

El segundo caso se ha llevado a cabo en la plataforma de distribución de una empresa dedicada a la fabricación de electrodomésticos, específicamente en el almacén de línea blanca. Previo a esta investigación, todos los productos se almacenaban en bloque y con una estrategia de almacenaje por familias. La preparación se realizaba de forma completamente independiente a la ubicación por lo que en las primeras reuniones **se analizó la posibilidad de: Combinar ambos procesos para eliminar los viajes en vacío** (ver Figura 8.6).

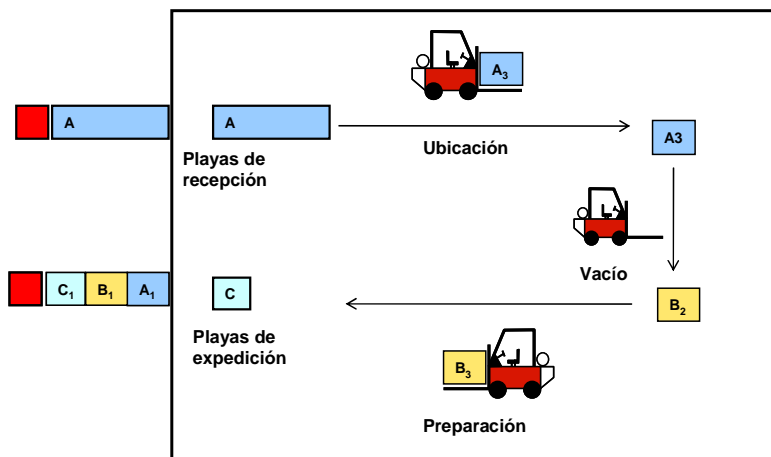


Figura 8.6 Esquema de eliminación de viajes en vacío

Se obtuvieron los datos de pedidos, las ubicaciones de todos los productos, las distancias a las playas de recepción y expedición y el maestro de artículos completo. Luego, se comprobó con el encargado del almacén que los datos recopilados de las distintas bases de datos fuesen coherentes para poder ser utilizados para el análisis.

Del análisis se obtuvo una mejora en la productividad del almacén superior al 3%, debido a la disminución de la distancia recorrida al combinar las ubicaciones de productos con la preparación de pedidos.

A continuación se enseña el Layout donde se ven, a escala, las distancias, la cantidad de huecos y las diferentes zonas que tiene el almacén (ver Figura 8.7).

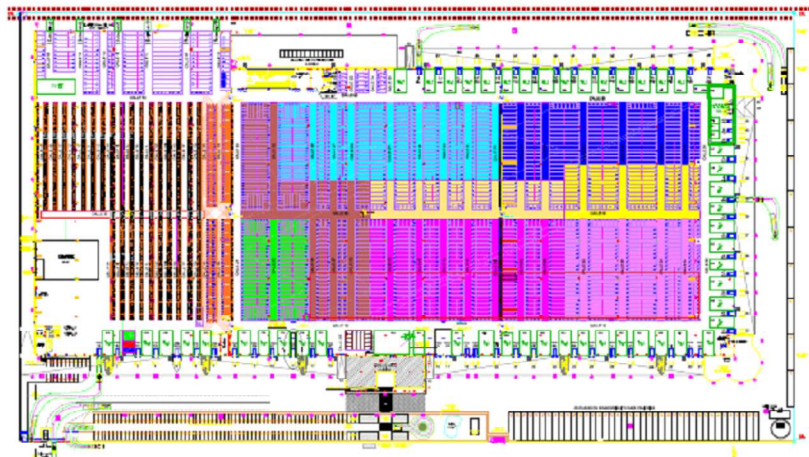


Figura 8.7 Layout del segundo caso

Estos resultados dieron lugar a un plan de implementación, a partir del cual se obtuvo una productividad de 800 líneas a la hora y una calidad medida de menos de 1% de líneas de pedido con retraso, menos de 1% de líneas de pedido y menos del 0,01% de líneas con errores. Tanto la tabla de complejidad como el Diagrama de estrellas mostrando la configuración implementada se incluyen en el Anexo 2, en el apartado A8.

8.3.3. Caso 3: Fabricante de ascensores

El tercer caso se llevó a cabo en una empresa que centra su actividad en la fabricación y montaje de ascensores. El objetivo principal definido en la primera reunión con la gerencia, fue garantizar un alto nivel de productividad y un nivel de calidad excelente, ya que varios clientes se encuentran en Asia y América y un faltante o un error de sustitución aumenta mucho los costes de transporte. En este contexto, el gerente estaba dispuesto a invertir en tecnología si las acciones a implementar ayudaban a reducir los errores y a aumentar la productividad de los operarios. Para cumplir con estos objetivos se propuso: **(1) Realizar preparaciones agrupadas y (2) Mecanizar o automatizar la manutención.**

Para poder llevar a cabo este análisis se construyó un modelo de **DES** utilizando el software comercial AnyLogic 6.5.0 University Researcher (ver Figura 8.8). Para dicho modelo se utilizó un Layout a escala de las instalaciones y se fijaron las siguientes características:

- Sistema Producto a Operario con un transelevador
- Patrones de demanda: basado en número de órdenes, líneas y cantidades
- Puestos de clasificación: 15

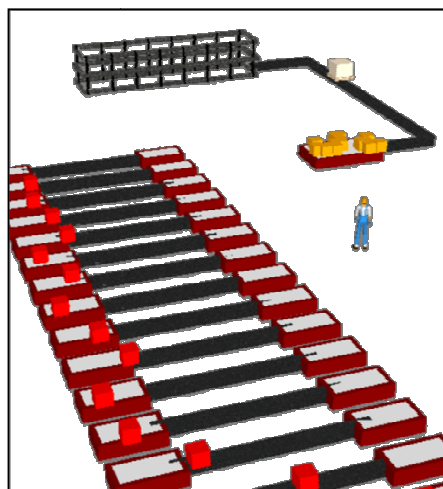


Figura 8.8 Modelo de simulación, vista 3D para el tercer caso

En dicho modelo de simulación se compararon las preparaciones agrupadas con las preparaciones por pedido. Para esto se usaron datos históricos de tiempos necesarios para preparar cada una de las referencias y de la comunalidad⁶ existente entre los diversos modelos de ascensores preparados, así como también el ABC de salidas de dichos modelos (ver Figura 8.9).

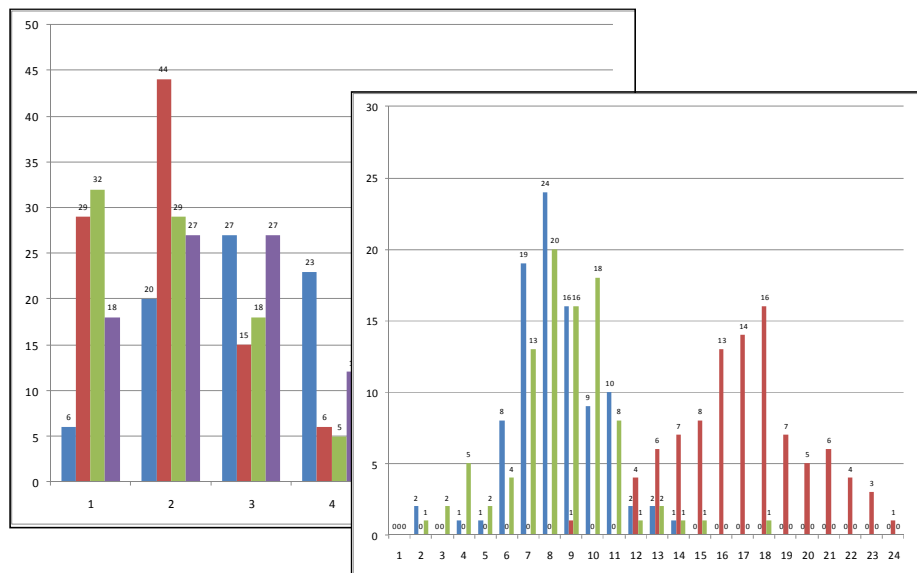


Figura 8.9 Históric de salidas de los diferentes modelos de ascensores

Dado que se detectó una alta comunalidad entre muchos modelos de ascensores, llevar a cabo preparaciones agrupadas de pedidos que incluyen combinaciones de dichos modelos aumentaría la productividad. Por lo tanto, para no contrarrestar esta mejora, es preciso que las operativas de clasificación sean eficientes. Con este objetivo se comparó la mejora de la calidad si se utilizaba el sistema automático solo, o ayudado con un sistema anti-error (Put to Light).

La mejora en la productividad se obtuvo en la reducción de los movimientos durante el proceso de preparación, pasando de 1482 a 161 movimientos al día, y la mejora en la calidad se debió a la reducción de errores de sustitución y calidad.

⁶ Existe comunalidad entre dos modelos de ascensores cuando los mismos están conformados por artículos comunes. Cuanto mayor es la semejanza de artículos entre ambos, mayor es la comunalidad.

Finalmente se obtuvo una productividad de 300 líneas a la hora y una calidad medida de menos de 0,5% de líneas de pedido con retraso, menos de 0,5% de líneas de pedido y menos del 0,05% de líneas con errores. Tanto la tabla de complejidad como el Diagrama de estrellas mostrando la configuración implementada se incluyen en el Anexo 2, en el apartado A9.

8.3.4. Caso 4: Distribución de productos de Parafarmacia

El cuarto caso fue llevado a cabo en una empresa del sector Gran Consumo. Se examinaron los históricos del proceso de preparación de pedidos y se comprobó que todos los productos estaban almacenados en un sistema de estanterías convencional siguiendo una estrategia del primer hueco libre, con el fin de simplificar el proceso de ubicación. La preparación se realizaba por pedido empleando traspaleas eléctricas, y sin ningún método de ruteo programado. Para mejorar la seguridad de los productos de parafarmacia y mejorar su productividad, se decidió: **(1) Zonificar el almacén, (2) Almacenar según una estrategia adecuada y (3) Realizar preparaciones agrupadas.** Adicionalmente se estudió la posibilidad de establecer un método de ruteo eficiente.

Para lograr estos objetivos se realizó un modelo de **DES** en el programa Enterprise Dynamic, combinado con un **DoE** para comparar las diferentes alternativas seleccionadas para los productos de parafarmacia. Estas alternativas fueron comparadas analizando la cantidad de líneas y la comunalidad⁷ existente entre los diferentes pedidos que se preparaban cada día. Esta comparación fue necesaria ya que existe una alta heterogeneidad entre los pedidos preparados a lo largo de la semana y mediante el uso del DoE y DES se pretendía corroborar si era necesario definir diferentes alternativas de preparación según el día de la semana.

El modelo de simulación desarrollado tiene las siguientes características:

- Tamaño de la zona: 100 x 90 m²
- Número de pasillos: 6
- Ubicaciones totales: 168 (28 por pasillo)

⁷ Existe comunalidad entre dos pedidos cuando los mismos están conformados por líneas de pedido o referencias comunes. Cuanto mayor es la semejanza de artículos entre ambos, mayor es la comunalidad.

- Velocidad horizontal del preparador: 120 metros/minuto
- Tiempo de extracción: 3,14 segundos de media y una desviación de 0,323
- Patrones de demanda: basado en número de órdenes, líneas y cantidades
- Todas los huecos tienen el mismo tamaño

A continuación se enseña un ejemplo del modelo de simulación (ver Figura 8.10).

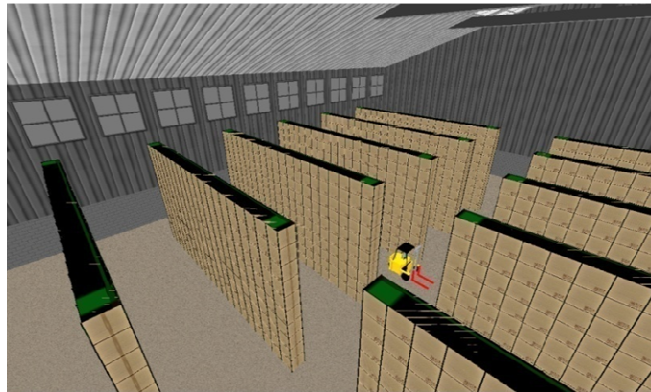


Figura 8.10 Modelo de simulación del cuarto caso

Se ha seleccionado un diseño factorial de dos niveles (2^5), comparándose los factores y niveles mostrados en la Tabla 8.3.

Tabla 8.3 DoE realizado en el cuarto caso

Factor	Nivel alto (1)	Nivel bajo (-1)
A: Líneas por pedido	Más de 25 líneas por pedido	Menos de 25 líneas por pedido
B: Comunalidad	Más de 3 referencias comunes	Menos de 3 referencias comunes
C: Ruteo	Retorno	En forma de S
D: Almacenaje	Según clases	Primer hueco libre
E: Agrupación	Por artículo	Por pedido

Se utilizó el Análisis de Varianza (ANOVA), un método estadístico preciso y formal para saber qué factores influyen significativamente en el tiempo de preparación. Para ello se usó el software de análisis de datos Minitab® 15.

Después del análisis, las dos principales recomendaciones para la empresa fueron implementar el método de ruteo de retorno en conjunto con una estrategia de almacenaje basada en la clase. En cuanto a la estrategia de agrupación de pedidos, una preparación por artículos lograba reducir el tiempo total de preparación del grupo de órdenes. Sin embargo, también se observó que esta estrategia tiene un impacto negativo en el tiempo de maduración de cada orden debido a que cada orden se termina de preparar cuando se acaba la preparación de todo el grupo. En este caso particular, se priorizó el tiempo total de preparación frente al tiempo de maduración de cada orden, implementándose una preparación por artículo. La zonificación, separando la zona de almacenaje de parafarmacia del resto de los productos, redujo las incidencias, aumentando la seguridad de estos productos de alto valor. La productividad de estos productos se aumentó debido a que el tiempo de preparación se redujo en casi un 60%.

Finalmente se obtuvo una productividad de 90 líneas a la hora y una calidad medida de menos de 0,01% de líneas de pedido con retraso, menos de 0,01% de líneas de pedido y menos del 0,01% de líneas con errores. Tanto la tabla de complejidad como el Diagrama de estrellas mostrando la configuración implementada se incluyen en el Anexo 2, en el apartado A10.

Con este caso, se verifica que el DES es útil en la resolución de problemas de diseño. Por otra parte, la combinación de DoE con DES permite que varias alternativas sean evaluadas rápidamente y con poco riesgo.

8.3.5. Caso 5: Repuestos de maquinaria

El último caso fue llevado a cabo en una empresa dedicada a la distribución de repuestos de maquinaria, concretamente, equipos de manutención. Previo a esta investigación, todos los productos eran gestionados con stock, muchos de los cuales eran almacenados en un almacén automático. Un reciente aumento en la gama de productos almacenados y en la frecuencia con que se demandaban ciertos ítems, llevó a la decisión de intentar gestionar los artículos de más baja rotación según:

Cross-docking.

La figura 8.11 muestra un esquema de la alternativa de gestión de stock seleccionada para mejorar la productividad del almacén: un cross-docking por artículo, donde son necesarias algunas actividades de acondicionamiento.

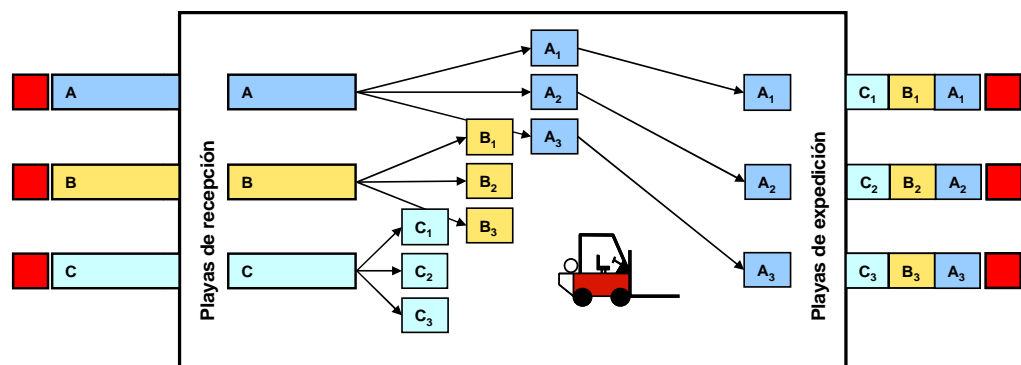


Figura 8.11 Cross-docking con manipulación de productos

Este cambio en la demanda estaba generando una saturación de la capacidad de almacenaje del Miniload instalado para aumentar la productividad.

Se analizaron el maestro de artículos y los históricos de salidas junto con el jefe del almacén para definir qué artículos era susceptibles de ser gestionados con un stock que no permaneciera en el almacén más de 24 horas. Dentro de estos artículos no sólo se consideraron algunos artículos del almacén automático, sino que también se incluyeron otros artículos de gran tamaño que resultaban difíciles de almacenar.

Finalmente se obtuvo una productividad de 100 líneas a la hora y una calidad medida de menos de 0,1% de líneas de pedido con retraso, menos de 0,5% de líneas de pedido y menos del 0,5% de líneas con errores. Tanto la tabla de complejidad como el Diagrama de estrellas mostrando la configuración implementada se incluyen en el Anexo 2, en el apartado A11.

8.4. Conclusiones

Este capítulo resume los cinco casos de Investigación en Acción llevados a cabo para implementar las mejores prácticas identificadas en la bibliografía para mejorar la eficiencia de un almacén. Como consecuencia, se ha obtenido parte del cuarto resultado (R4), completado así el cuarto objetivo (O4) planteado en esta tesis.

Estos casos han contribuido a su vez con el quinto objetivo (O5), testeando la utilidad del Diseño de Experimentos y de la Simulación de Eventos Discretos para asistir el diseño de almacenes. Se ha comprobado que tanto DoE como DES son herramientas valiosas a la hora de comparar diferentes alternativas de diseño y que permiten una visualización rápida y sin riesgos de las ventajas potenciales de una nueva configuración.

Capítulo 9.

Conclusiones, Limitaciones y Futuras líneas

Este capítulo contiene las principales conclusiones obtenidas a raíz del trabajo de investigación realizado. Se describen las contribuciones realizadas tanto al ámbito académico como en el empresarial y se evidencia el cumplimiento de los objetivos de investigación propuestos. Además, se detallan las limitaciones y dificultades encontradas a lo largo del proceso, para luego sugerir formas de complementar las aportaciones realizadas en futuros proyectos y futuras líneas de investigación.

9.1. Conclusiones

Hasta la fecha, algunos académicos habían realizado importantes aportaciones referentes al diseño de almacenes. Sin embargo, se detectó la necesidad de desarrollar investigaciones que puedan contribuir a la construcción de una metodología para el diseño, no basada en el juicio, la intuición o la experiencia, que lograra guiar al diseñador, reduciendo el número de alternativas disponibles en base a la complejidad y al rendimiento objetivo.

En esta tesis doctoral se ha abordado de forma secuencial el diseño de las funciones logísticas y el diseño de los procesos con flujo de material. No quiere decir que se haya considerado que estos dos aspectos sean independientes, sino que el primero ha sido utilizado como dato de entrada del segundo. Para poder definir qué equipos de mantenimiento, sistemas de almacenaje y operativas serán implementadas, es importante que el diseñador conozca a priori la capacidad que debería tener el almacén para alcanzar el nivel de servicio objetivo con las estrategias de suministro definidas.

Se ha estudiado que el dimensionamiento del almacén no puede ser tratado de forma aislada, sino que debe integrar las funciones logísticas de gestión de la demanda, planificación del servicio, planificación del stock y planificación del aprovisionamiento. Por este motivo se planteó como primer objetivo (O1) desarrollar una herramienta que asista en el diseño de las funciones logísticas.

Para asistir al diseño de los procesos de flujo de material se plantearon cuatro objetivos: (O2): desarrollar una herramienta que asista en el diseño de los procesos de flujo de material para seleccionar un número reducido de alternativas, (O3) proponer una metodología de diseño de almacenes que ayude al diseñador a identificar alternativas adecuadas a la complejidad del almacén y al rendimiento deseado, (O4) recopilar diseños de almacenes de referencia para guiar al diseñador en la selección de alternativas y (O5) testear la utilidad de técnicas y métodos disponibles para asistir al diseñador durante la etapa de diseño en la selección entre un número reducido de configuraciones.

A continuación se resumen los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, explicando cómo contribuye cada uno de ellos con la consecución de los objetivos planteados.

9.1.1. Diseño de la Funciones logísticas

Para el diseño de las funciones logísticas se ha desarrollado de un **sistema experto denominado IRES que apoya el dimensionamiento del almacén y el diseño de las funciones logísticas de gestión de la demanda, planificación del stock, planificación del servicio y planificación del aprovisionamiento**. El mismo ha sido testeado y validado en la práctica mediante tres casos de aplicación, para luego llevarse a cabo el desarrollo informático de la herramienta para conseguir la transferencia a las empresas de la contribución científica realizada. **Este es el primer resultado (R1) de esta tesis y contribuye a completar el primer objetivo O1.**

El IRES permite al diseñador conocer la capacidad que debería tener el almacén para alcanzar el nivel de servicio objetivo. Tras la aplicación de la herramienta es posible dimensionar al almacén para dar respuesta a las exigencias de los clientes, contemplando patrones de la demanda y racionalizando los costes destinados a material inmovilizado.

Se han comprobado las ventajas que proporciona el IRES al diseño de las funciones logísticas, realizándose dos casos de aplicación en plataformas de distribución regionales pertenecientes al sector bebidas y electrodomésticos respectivamente. Una de estas ventajas es la clasificación ABC/XYZ de referencias propuesta, ya que la misma permite contemplar patrones de la demanda como estacionalidad, tendencia, irregularidad e intermitencia, caracterizando así de manera ajustada los productos, y permitiendo la selección del método de previsión y la estrategia de aprovisionamiento que mejor se adapta al comportamiento de cada clase. Adicionalmente, el IRES permite una gestión semiautomática de referencias.

Se ha realizado un tercer caso de investigación que ha permitido ratificar que algunos pasos previos a la utilización del sistema experto ayudan a que sus resultados sean más eficientes. Si la estrategia de suministro no está correctamente definida antes de la utilización del IRES, el nivel de stock y las rotaciones obtenidos para brindar un adecuado nivel de servicio representarán un coste elevado.

A pesar de no haberse implementado aún el sistema experto en este tercer caso, las pruebas realizadas con referencias estratégicas han demostrado que el IRES tiene potencial para reforzar la gestión de las funciones logísticas y para dimensionar correctamente el stock tanto de producto terminado como de materias primas, cuando la estrategia de suministro es adecuada.

9.1.2. Diseño de los Procesos de Flujo de Material

Para el diseño de los procesos de flujo de material, en primer lugar se ha propuesto de **una herramienta para la selección de configuraciones de diseño que reorganiza, en un Diagrama en forma de estrellas, los diferentes factores a considerar para los procesos de flujo de material** (recepción, ubicación, almacenaje, preparación de pedidos y expedición). **Este Diagrama de estrellas es el segundo resultado (R2) del presente trabajo de investigación.** Dicha herramienta de análisis y visualización, creada para asistir la toma de decisiones durante el proceso de diseño, ha sido mejorada y validada por un grupo de 10 expertos en el tema que participaron en un Estudio Delphi. **Una segunda versión de la herramienta ha sido desarrollada, contribuyendo a completar el segundo objetivo planteado (O2).**

Luego, se ha desarrollado **una metodología de diseño de almacenes que posibilita buscar una solución de diseño entre un amplio universo, no limitado por la experiencia del diseñador.** Se han tenido en cuenta los pasos básicos identificados en la bibliografía y las herramientas más útiles para asistir durante el proceso de diseño, por lo que la nueva metodología de diseño de almacenes ha sido construida sobre aportaciones previas realizadas por los académicos en este campo. Además, la complejidad del almacén y las medidas de rendimiento han sido consideradas factores clave, buscando que la metodología resultante fuera útil en la práctica. **Este es el tercer resultado (R3) de la tesis, contribuyendo con la finalización del tercer objetivo de este trabajo (O3).**

La metodología propuesta se compone de cinco pasos y contempla el nivel de complejidad del almacén y el rendimiento deseado en términos de calidad y productividad, utilizando el coste como una restricción. A partir de esta información, se limita el universo de soluciones de diseño gracias a un recopilatorio de diseños de almacenes referencia, construido consultando a los expertos participantes del Estudio Delphi y llevando a cabo casos de Investigación en Acción (IA) donde se implementaron las mejores prácticas identificadas en la bibliografía. **El cuarto resultado (R4) de esta investigación es esta recopilación de diseños de almacenes de referencia, para guiar al diseñador a la hora de reducir el número de configuraciones adecuadas a la complejidad de los procesos de flujo de material y al rendimiento objetivo.** Para la representación gráfica de estos modelos de referencia se ha utilizado el Diagrama de estrellas (R2).

Este guía contribuye a completar el cuarto objetivo planteado (O4).

Además, en esta investigación se sugiere la utilización del Diseño de Experimentos (DoE) y de la Simulación de Eventos Discretos (DES) como herramientas para asistir la comparación de un número reducido de alternativas de diseño, buscando diseños ajustados a los requisitos de rendimiento, flexibles y robustos. La utilidad de estas dos herramientas se muestra con ejemplos reales, siendo empleadas para asistir los diseños llevados a cabo en los cinco casos de investigación en acción realizados. **La combinación de DoE con DES permite que varias alternativas sean evaluadas rápidamente y con poco riesgo, por lo que se recomiendan como herramientas complementarias para la etapa de Diseño de la metodología propuesta (R3). De esta forma se completa el quinto resultado del presente trabajo de investigación (O5).**

Con los cuatro resultados obtenidos se **logra contribuir tanto al ámbito académico como a las prácticas empresarial, reduciendo la brecha existente entre ambos.**

9.2. Limitaciones

A continuación se listan las limitaciones encontradas al llevar a cabo este proceso de investigación:

- Los modelos de referencia recogidos son parciales, ya que no se han recogido dichos modelos para los 81 niveles de complejidad identificados. De todas formas, la utilización del DoE y la DES son sugeridas como dos herramientas que posibilitan evaluar alternativas de diseño.
- Los niveles de complejidad han sido diferenciados para poder clasificar los modelos de referencia, pero no permiten decir si un almacén es más complejo que otro en función del nivel de complejidad medido. No se ha analizado, por ejemplo, si es más complejo un almacén con entre 100 y 1000 líneas por orden (2), más de 50 ítems por orden (3), con entre 100 y 1000 referencias (2) almacenadas en unidades sueltas (3), que otro almacén con más de 1000 líneas por orden (3), entre 10 y 50 ítems por orden (2) y más de 1000 referencias (3) almacenadas en cajas (2).
- Los modelos de referencia recopilados han sido asociados al nivel de complejidad del almacén donde se implementaron y al rendimiento obtenido con ellas en términos de calidad y productividad, pero no en

términos del coste de estas soluciones. No se ha incluido el coste debido a las discrepancias existentes entre diversos proveedores y a la volatilidad de este dato debido a ajustes de precios. Se sugiere que en el momento de seleccionar una solución de diseño, se pida un presupuesto actualizado para poder corroborar que no se supera la restricción de presupuesto fijada inicialmente.

9.3. Futuras investigaciones

A continuación se listan las posibles líneas de investigación futuras que se desprenden de esta tesis doctoral:

- En primer lugar, se propone realizar investigaciones que permitan completar **el recopilatorio de modelos de referencia para los 81 niveles de complejidad definidos**, aportando más soluciones de diseño excelentes al archivo disponible hasta el momento. **Se intentará ordenar estos niveles de complejidad** para que puedan ser utilizados para comparar dos almacenes. Dicha investigación se podría realizar bien mediante casos de IA o consultando a expertos.
- Por otra parte, será importante **actualizar la herramienta para configurar factores de diseño** cada vez que se produzca un salto tecnológico, un cambio en los conceptos incluidos o cambios en el mercado, **para evitar que la misma quede obsoleta**.
- **Actualmente, el recopilatorio de mejores prácticas se encuentra embebido en el contenido de esta memoria. Sin embargo**, su principal objetivo es ayudar al diseñador durante el proceso de diseño, y por este motivo, **se planea darle un formato que pueda llegar a la empresa**. Esto **podría hacerse en papel (en forma de manual) o programando una herramienta informática** que, pidiendo como entrada el rendimiento objetivo y el nivel de complejidad, sugiera los modelos de referencia adecuados para ese caso en particular.
- Como posible línea de investigación, podría ser interesante sugerir, para cada decisión que necesite mayor grado de detalle (definir el número de huecos y el número, largo y ancho de los pasillos de cada bloque de

estanterías, el tamaño del lote para las preparaciones agrupadas, etc.), métodos de diseño soportados con DoE y DES que ayuden a finalizar el proceso de diseño a nivel operativo. Esta futura contribución debería hacerse sin perder el foco práctico que se ha seleccionado para esta tesis doctoral.

Referencias

Adler, M., & Ziglio, E. (1996). *Gazing into the oracle: the Delphi method and its application to social policy and public health*. Jessica Kingsley Pub: London.

Aminoff, A., Kettunen, O., & Pajunen-Muhonen, H. (2002). Research on factors affecting warehousing efficiency. *International Journal of Logistics*, 5, 45-57.

Apple, J. M. (1977). *Plant layout and material handling*. (3rd ed.). John Wiley: New York.

Baker, P., & Canessa, M. (2009). Warehouse design: A structured approach. *European Journal of Operational Research*, 193, 425-436.

Banks, J., & Carson, J. S. (1984). *Discrete event system simulation*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Benbasat, I., Goldstein, D. K., & Mead, M. (1987). The case research strategy in studies of information systems. *MIS quarterly*, 369-386.

Bhote, K. R., & Bhote, A. K. (2000). *World class quality: Using design of experiments to make it happen*. Amacom Books.

Bodner, D., Govindaraj, T., Karathur, K., Zerangue, N., & McGinnis, L. (2002). A process model and support tools for warehouse design. , 1-8.

Box, G. E. P., Hunter, J. S., & Hunter, W. G. (2005). *Statistics for experimenters: design, innovation, and discovery*. Wiley Online Library.

Brynzér, H., & Johansson, M. I. (1995). Design and performance of kitting and order picking systems. *International Journal of Production Economics*, 41, 115-125.

Buffa, E. S., & Miller, J. G. (1979). *Production-Inventory Systems: planning and control*. Richard D. Irwin Homewood, IL.

Carrasco-Gallego, R., & Ponce-Cueto, E. (2010). Mejora de la eficiencia de una central logística mediante el rediseño del reaprovisionamiento de la zona de picking. *Dirección y Organización*, 73-81.

Cheng, J. C., & Chou, C. Y. (2008). A real-time inventory decision system using Western Electric run rules and ARMA control chart. *Expert Systems with Applications*, 35, 755-761.

Christopher, M. (2005). *Logistics and supply chain management: creating value-adding networks*. Pearson education.

Cormier, G., & Gunn, E. A. (1992). A Review of Warehouse Models. *European Journal of Operational Research*, 58, 3-13.

Coughlan, P., & Coughlan, D. (2002). Action research for operations management. *International Journal of Operations & Production Management*, 22, 220-240.

Czitrom, V., & Spagon, P. D. (1997). *Statistical case studies for industrial process improvement*. Society for Industrial Mathematics.

Dalkey, N., & Helmer, O. (1963). An experimental application of the Delphi method to the use of experts. *Management science*, 9, 458-467.

Dallari, F., Marchet, G., & Melacini, M. (2009). Design of order picking system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 42, 1-12.

- De Koster, R., & Balk, B. M. (2008). Benchmarking and monitoring international warehouse operations in Europe. *Production and operations management*, 17, 175-183.
- De Koster, R., de Brito, M. P., & van de Vendel, M. A. (2002). Return handling: an exploratory study with nine retailer warehouses. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 30, 407-421.
- De Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182, 481-501.
- Dekker, R., De Koster, M., Roodbergen, K., & Van Kalleveen, H. (2004). Improving order-picking response time at Ankor's warehouse. *Interfaces*, 34, 303-313.
- Delbecq, A. L., Van de Ven, A. H., & Gustafson, D. H. (1975). *Group techniques for program planning: A guide to nominal group and Delphi processes*. Scott, Foresman Glenview, IL.
- Easterby-Smith, M., Thorpe, R., Jackson, P., & Lowe, A. (2008). *Management research*. SAGE Publications Limited.
- Ekren, B. Y., Heragu, S. S., Krishnamurthy, A., & Malmborg, C. J. (2010). Simulation based experimental design to identify factors affecting performance of AVS/RS. *Computers & Industrial Engineering*, 58, 175-185.
- Ellram, L. M. (1996). The use of the case study method in logistics research. *Journal of Business Logistics*.
- Errasti, A. (2011). *Logística de almacenaje. Diseño y gestión de almacenes y plataformas logísticas world class warehousing*. Ediciones Pirámide: España.
- Errasti, A. (2009). Sistemas de previsión de la demanda y su aplicación a la gestión de almacenes. Proyecto del Cluster de Transporte y Logística de Euskadi.
- Errasti, A., Chackelson, C., & Arcelus, M. (2010a). Estado del arte y retos para la mejora de sistemas de preparación en almacenes-Estudio Delphi. *Dirección y Organización*, 78-85.

Errasti, A., Chackelson, C., & Jaca, C. (2010b). Mejora en el rendimiento de un centro de distribución a través del rediseño del sistema de preparación de pedidos: Estudio de caso. , 1120-1128.

Faber, N., de Koster, R., & van de Velde, S. L. (2002). Linking warehouse complexity to warehouse planning and control structure: an exploratory study of the use of warehouse management information systems. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32, 381-395.

Firth, D., Apple, J., Denham, R., Hall, J., Inglis, P., & Saipe, A. (1988). *Profitable logistics management*. McGraw-Hill Ryerson.

Frazelle, E. (2002a). *Supply chain strategy*. McGraw-Hill Companies.

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

García, A., Seok Chang, Y., & Valverde, R. (2006). Impact of new identification and tracking technologies on a distribution center. *Computers & Industrial Engineering*, 51, 542-552.

Goetschalckx, M., & Ashayeri, J. (1989). Classification and design of order picking. *Logistics Information Management*, 2, 99-106.

Goetschalckx, M., McGinnis, L., Sharp, G., Bodner, D., Govindaraj, T., & Huang, K. (2001). Development of a design methodology for warehousing systems: hierarchical framework. *Proceedings of the Industrial Engineering Research, Orlando, FL, USA*.

Goti-Elordi, A., GARCIA-SANCHEZ, A., Ortega-Mier, M., & Uradnicek, J. (2010). Optimización del punto de pedido: Solución realista a un problema extensamente estudiado, pero pobremente resuelto. *Dyna*, 85, 473-479.

Govindaraj, T., Blanco, E. E., Bodner, D. A., Goetschalckx, M., McGinnis, L. F., & Sharp, G. P. (2000). Design of warehousing and distribution systems: an object model of facilities, functions and information. *Smc 2000 Conference Proceedings: 2000 Ieee International Conference on Systems, Man & Cybernetics, Vol 1-5*, 1099-1104.

Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. F. (2010). Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 203, 539-549.

Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. F. (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 177, 1-21.

Gummesson, E. (1999). *Qualitative methods in management research*. Sage Publications, Incorporated.

Hall, R. W. (1993). Distance approximations for routing manual pickers in a warehouse. *IIE transactions*, 25, 76-87.

Hassan, M. M. D. (2002). A framework for the design of warehouse layout. *Facilities*, 20, 432-440.

Hatton, G. (1990). Designing a warehouse or distribution centre. *The Gower Handbook of Logistics and Distribution Management (4 th ed.)*. Gower Publishing, Aldershot, 175-193.

Hax, A. C., & Candea, D. I. (1979). Inventory Management. *Inventory Management*.

Heskett, J., Glaskowsky, N., & Ivie, R. (1973). Business Logistics, Physical Distribution and Materials Handling. *Ronald Press, New York*.

Jahangirian, M., Eldabi, T., Naseer, A., Stergioulas, L. K., & Young, T. (2010). Simulation in manufacturing and business: A review. *European Journal of Operational Research*, 203, 1-13.

Järvinen, P. (2000). Research questions guiding selection of an appropriate research method. , 3.

Jiménez Fuentes, J. (2012). Business application study of RFID technology.

Karlsson, C. (2008). *Researching operations management*. Taylor & Francis.

Khoshnevis, B. (1994). *Discrete systems simulation*. McGraw-Hill Singapore;

Lambert, D. M., Stock, J. R., & Ellram, L. M. (1998). *Fundamentals of logistics management*. Irwin/McGraw-Hill Chicago, IL.

Lewis, C. D. (1981). *Scientific inventory control*. Butterworths.

Liu, C., & Ridgway, K. (1995a). A computer-aided inventory management system—part 1: forecasting. *Integrated Manufacturing Systems*, 6, 12-21.

Liu, C., & Ridgway, K. (1995b). A computer-aided inventory management system—part 2: inventory level control. *Integrated Manufacturing Systems*, 6, 11-17.

Manzini, R., Gamberi, M., Persona, A., & Regattieri, A. (2007). Design of a class based storage picker to product order picking system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32, 811-821.

Manzini, R., Gamberi, M., & Regattieri, A. (2006). Design and control of an AS/RS. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28, 766-774.

Mattsson, S. A. (2007). Inventory control in environments with short lead times. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37, 115-130.

Mecalux, S. A. (2010). *Manual técnico de almacenaje. Conceptos básicos sobre sistemas, equipos de manutención y procesos logísticos*. Mecalux, SA: Barcelona.

Miragliotta, G., & Staudacher, A. P. (2006). The integrated use of information and stocks in the management of uncertain lumpy demand. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 19, 220-233.

Mulcahy, D. E. (1994). *Warehouse distribution and operations handbook*. McGraw-Hill.

Nagarur, N. N., & Baid, N. K. (1994). A computer-based inventory management system for spare parts. *Industrial Management & Data Systems*, 94, 22-28.

Näslund, D. (2002). Logistics needs qualitative research—especially action research. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32, 321-338.

Okoli, C., & Pawlowski, S. D. (2004). The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. *Information & Management*, 42, 15-29.

Oxley, J. (1994). Avoiding Inferior Design: The design of a warehouse is not a simple matter and the consequences of inadequate warehouse planning cannot be overstated. *STORAGE HANDLING DISTRIBUTION*, 38, 28-28.

Pande, P. S., Neuman, R. P., & Cavanagh, R. R. (2005). *What is Design for Six Sigma?* McGraw Hill Professional: USA.

Petersen II, C. G. (1997). An evaluation of order picking routing policies. *International Journal of Operations & Production Management*, 17, 1098-1111.

Petersen, C. G. (1995). Routing and storage policy interaction in order picking operations. *Decision Sciences Institute Proceedings*, 3, 1614-1616.

Petersen, C. G., & Aase, G. (2004). A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking. *International Journal of Production Economics*, 92, 11-19.

Pfohl, H. C., Cullmann, O., & Stölzle, W. (1999). Inventory management with statistical process control: simulation and evaluation. *Journal of Business Logistics*, 20, 101-120.

Platts, K., Mills, J., Bourne, M., Neely, A., Richards, A., & Gregory, M. (1998). Testing manufacturing strategy formulation processes. *International Journal of Production Economics*, 56, 517-523.

Poler, R., Mula, J., & Peidro, D. (2010). Determinación de parámetros de modelos de previsión de demanda a través de los errores de acierto en horizonte rodante. *Dirección y Organización*, 76-82.

Ratliff, H. D., & Rosenthal, A. S. (1983). Order-picking in a rectangular warehouse: a solvable case of the traveling salesman problem. *Operations research*, 507-521.

Reiner, G., & Trcka, M. (2004). Customized supply chain design: Problems and alternatives for a production company in the food industry. A simulation based analysis. *International Journal of Production Economics*, 89, 217-229.

Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., Van-Houtum, G. J., & Mantel, R. J. (2000). Warehouse design and control: Framework and literature review. *European Journal of Operational Research*, 122, 515-533.

Rowley, J. (2002). Using case studies in research. *Management research news*, 25, 16-27.

Rowley, J. (2000). The principles of warehouse design. *The Institute of Logistics & Transport, Corby*.

Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2010). *The handbook of logistics & distribution management*. (4th ed.). Kogan Page.

Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2006). *The handbook of logistics and distribution management*. (3rd ed.). Kogan Page: London.

Rushton, A., Oxley, J., & Croucher, P. (2000). *The handbook of logistics and distribution management*. (2nd ed.). Kogan Page: London.

Sabrià, F. (2004). *La Cadena de suministro: un estudio de IESE*. ICG Marge: Universidad de Navarra. Instituto de Estudios Superiores de la Empresa.

Shani, A. B., & Pasmore, W. A. (1985). Organization Inquiry: Towards a New Model of the Action Research Process. In Anonymous *Contemporary Organization Development: Current Thinking and Applications* (Scott Foresman ed.). (pp. 438-448). : IL.

Silver, E. A., Pyke, D. F., & Peterson, R. (1998). *Inventory management and production planning and scheduling*. Wiley New York.

Skulmoski, G. J., Hartman, F. T., & Krahn, J. (2007). The Delphi method for graduate research. *Journal of information technology education*, 6, 1.

Stock, J. R., & Lambert, D. M. (2001). *Strategic logistics management*.

Tanco, M., Viles, E., Ilzarbe, L., & Alvarez, M. J. (2009). Implementation of design of experiments projects in industry. *Applied Stochastic Models in Business and Industry*, 25, 478-505.

Tiacci, L., & Saetta, S. (2009). An approach to evaluate the impact of interaction between demand forecasting method and stock control policy on the inventory system performances. *International Journal of Production Economics*, *118*, 63-71.

Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., & Tanchoco, J. M. A. (2010). *Facilities planning*. Wiley.

Tratar, L. F. (2010). Joint optimisation of demand forecasting and stock control parameters. *International Journal of Production Economics*, *127*, 173-179.

Turban, E., Sharda, R., & Delen, D. (2007). *Decision support and business intelligence systems*.

Turoff, M. (1971). Delphi and its potential impact on information systems. , *Proceedings of the November 16-18, 1971, fall joint computer conference*, 317-326.

van Den Berg, J. P. (1999). A literature survey on planning and control of warehousing systems. *IIE transactions*, *31*, 751-762.

van Hoek, R. I. (2001). The rediscovery of postponement a literature review and directions for research. *Journal of Operations Management*, *19*, 161-184.

van Oudheusden, D. L., Tzen, Y. J. J., & Ko, H. T. (1988). Improving storage and order picking in a person-on-board AS/R system: A case study. *Engineering Costs and Production Economics*, *13*, 273-283.

Waters, D. (2003). *Logistics: an introduction to supply chain management*. Palgrave Macmillan.

Watts, C. A., Hahn, C. K., & Sohn, B. K. (1994). Monitoring the performance of a reorder point system: A control chart approach. *International Journal of Operations & Production Management*, *14*, 51-61.

Webby, R., & O'Connor, M. (1996). Judgemental and statistical time series forecasting: A review of the literature. *International Journal of Forecasting*, *12*, 91-118.

Yin, R. K. (1994). *Case study research. Design and methods*. (2nd ed.). SAGE Publications: London.

Anexo 1: Cuestionarios del Delphi

Introducción al primer cuestionario:

Los almacenes son un eslabón clave en la cadena de suministro, ya que pueden ayudar a hacer operativas las siguientes funciones:

- Conseguir economías de escala de transporte.
- Conseguir economías de escala de producción.
- Obtener ventajas, partiendo de la compra especulativa.
- Amortiguar las condiciones cambiantes e incertidumbres de la demanda.
- Lograr un nivel de servicio objetivo.
- Suministrar un conjunto de productos a partir de una amplia gama.

La complejidad que afrontan los almacenes ha ido en aumento en los últimos años, dejando de ser simplemente depósitos, para convertirse en espacios en los cuales el flujo de materiales e información requiere sistemas más sofisticados.

Los almacenes pueden tener diferentes funciones en la cadena de suministro, ya sea por su localización o por otros factores (almacén de materias primas, producto semi-elaborado o productos terminados, almacenes regionales, centros de distribución, centro de consolidación, centro de reexpedición, etc.)

Una vez definida su función y localización geográfica, el diseño físico-operativo debe llevarse a cabo. Las principales operativas realizadas en los almacenes (recepción, ubicación, almacenaje, preparación y expedición) deben ser cuidadosamente diseñadas si

de quiere garantizar un funcionamiento adecuado y un rendimiento elevado. Sin embargo, debido a la gran cantidad de alternativas existentes y a la fuerte interacción entre las variables involucradas, el proceso de diseño es altamente complejo.

Con el fin de facilitar la identificación de las posibles alternativas de diseño para cualquier tipo de almacén, y adicionalmente agilizar el proceso de aprendizaje de un nuevo diseñador, se ha desarrollado la siguiente herramienta:

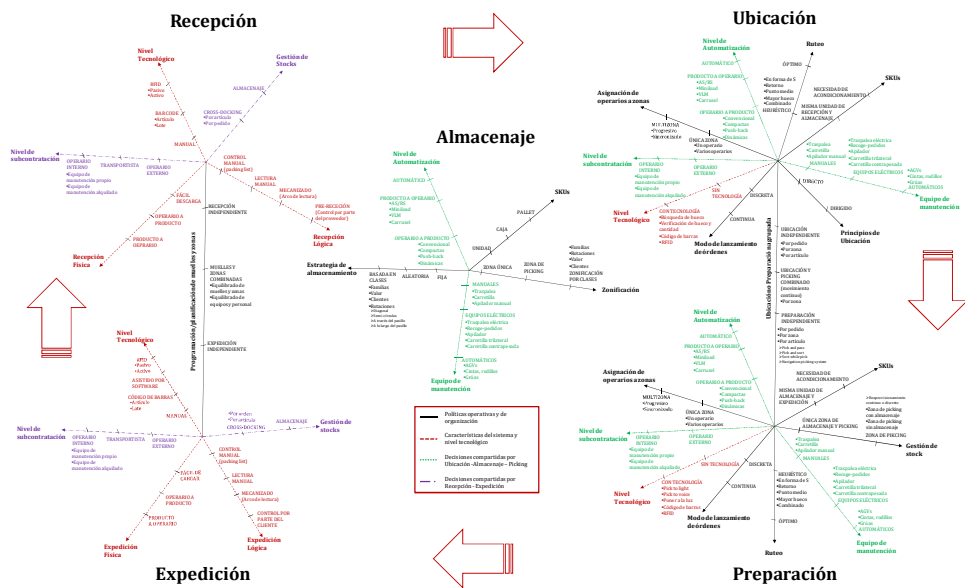


Figura Anexo 1.1 Diagrama de estrellas general: los cinco procesos de flujo de material

El mapa general muestra las alternativas de diseño para los principales procesos de flujo de materiales. Los colores verde y violeta representan las decisiones comunes que deben tomarse para más de un proceso. El verde simboliza las **decisiones conjuntas para la ubicación, el almacenaje y la preparación**; el violeta las **decisiones conjuntas para la recepción y la expedición**. El negro representa diferentes alternativas en cuanto a operativas, mientras que el granate muestra **decisiones relacionadas con el nivel tecnológico o las características del sistema**.

Si se hace un acercamiento a cada uno de los principales procesos de flujo de materiales, se pueden ver en detalle las opciones de diseño contempladas en la herramienta:

Almacenaje

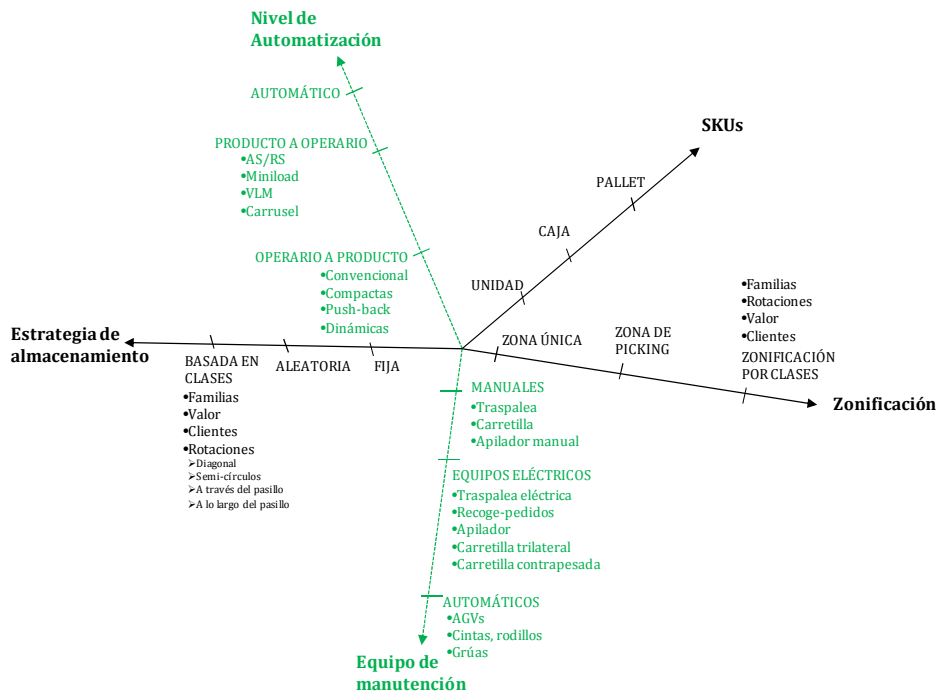


Figura Anexo 1.2 Diagrama de estrellas por procesos: almacenaje

Recepción

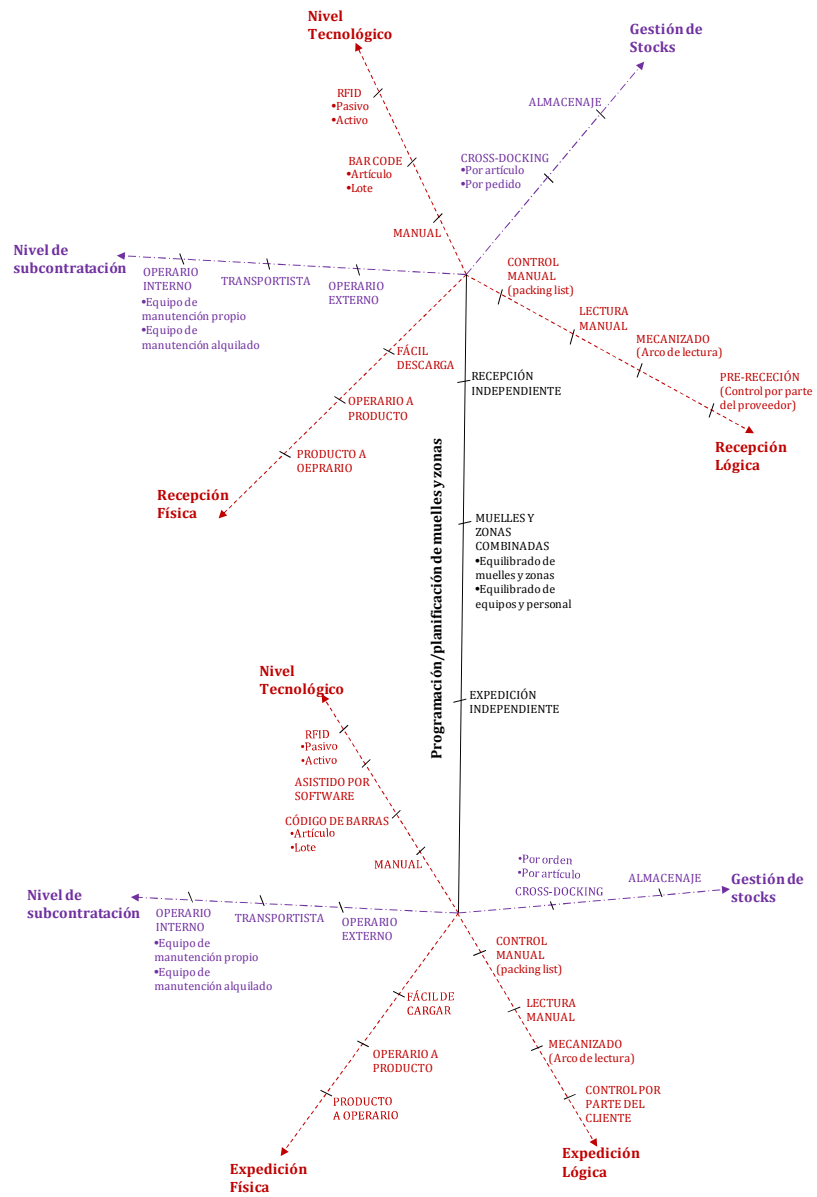


Figura Anexo 1.3 Diagrama de estrellas por procesos: recepción y expedición

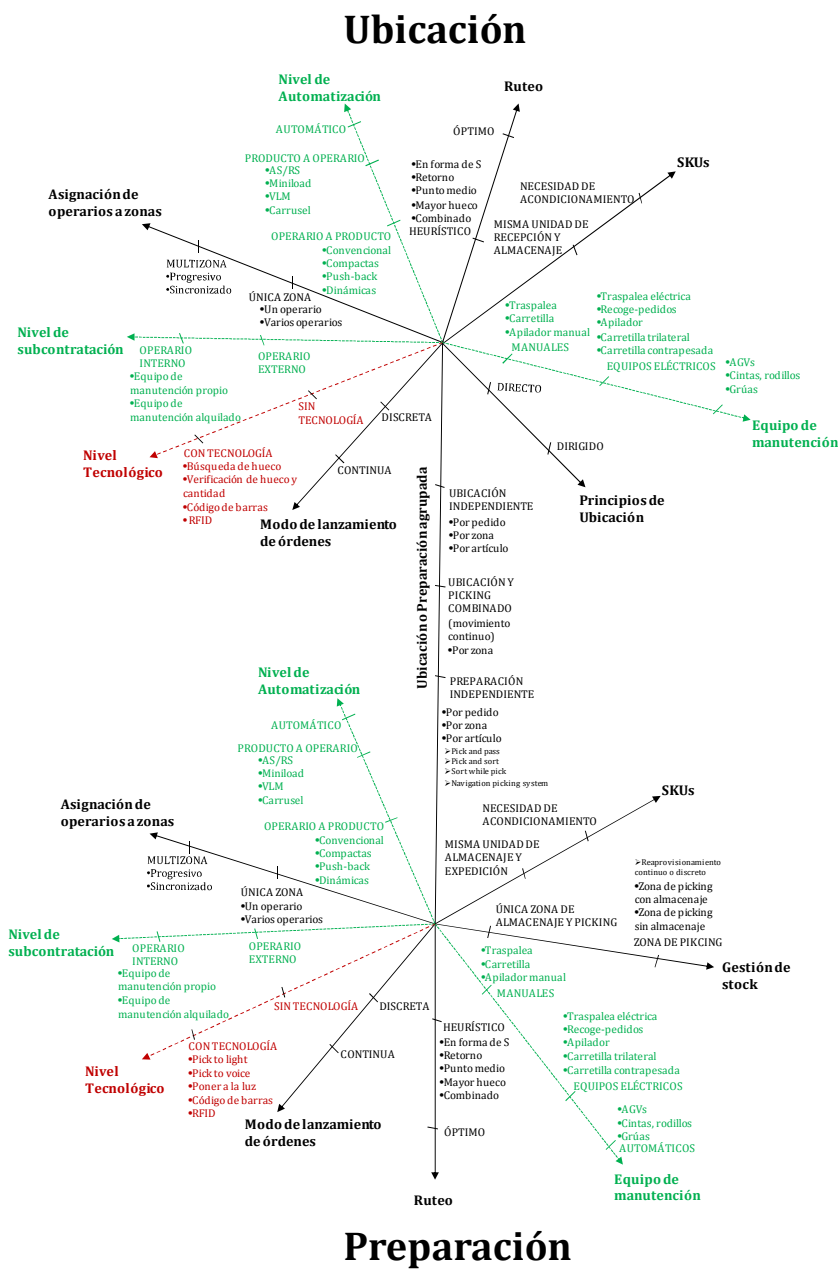


Figura Anexo 1.4 Diagrama de estrellas por procesos: ubicación y preparación

Primer cuestionario

Estimado experto, las siguientes preguntas apuntan a la validación de la nueva herramienta desarrollada. Sus respuestas serán consideradas en conjunto con las brindadas por otros expertos en el diseño de almacenes, buscando corroborar la utilidad práctica de la herramienta.

¿Es la herramienta desarrollada útil para asistir el proceso de diseño de almacenes?	
Si	
No	
Justifique su respuesta:	

¿Contempla las principales alternativas de diseño empleadas hoy en día a nivel empresarial?	
Si	
No	
Si su respuesta es No, ¿Agregaría una nueva rama? ¿Cuál?	
¿Agregaría un punto a una de las ramas existentes? ¿Cuál? ¿En qué rama?	

¿Cree que cada alternativa de diseño está situada en la rama de la estrella que le corresponde?	
Si	
No	
Si su respuesta es No, ¿cuál cambiaría de sitio? ¿Dónde la colocaría?	

¿Es claro el código de colores?	
Si	
No	
Si su respuesta es No, desarrolle:	

Las alternativas de diseño más simples han sido colocadas en el centro de las estrellas, mientras que las más complejas y/o costosas se han colocado en la periferia.

Siguiendo ese criterio de complejidad, ¿considera que las alternativas de diseño están correctamente colocadas?	
Si	
No	
Si su respuesta es No, desarrolle:	

Introducción al segundo cuestionario

Después de una primera ronda de mejora del diagrama de estrellas, se han incorporado las sugerencias realizadas por el grupo de expertos participantes⁸. A continuación se exponen algunos comentarios generales relacionados con algunas sugerencias realizadas por algunos en cuanto a la mejor forma de utilizar esta herramienta.

En primer lugar, se ha sugerido la posibilidad de ir agregando filtros para poder ayudar al diseñador a seleccionar la mejor alternativa (Experto 3). En relación con este punto, hay que aclarar que **con esta herramienta se recopilan mejores prácticas, estratificadas en función del nivel de complejidad del almacén, con el fin de asistir durante el proceso de diseño**. No se ha realizado en forma de filtros, sino en forma de casos que ejemplifican alternativas de diseño que han posibilitado altos niveles de servicio (plazo, calidad,...).

Adicionalmente se mencionó la necesidad de incluir en el diagrama de estrellas una serie de pasos necesarios para llevar a cabo el diseño (Experto 8). **Esta herramienta es un soporte incluido en una metodología de diseño general**. Dicha metodología incluye diversos pasos: la recopilación de datos, el análisis de los mismos, el mapeo de la complejidad del almacén, la identificación de mejores prácticas y la simulación y experimentación para obtener un diseño ajustado, robusto y flexible.

Adicionalmente se menciona que la combinación de dos alternativas “simples” puede ser más compleja que dos “compleja” (Experto 8). De cualquier forma, la herramienta permite ver en cada rama las alternativas ordenadas según un criterio de sofisticación.

En relación a **las características del producto** (Experto 7), las mismas **se contemplan previamente** para definir la zonificación del almacén (**temperatura, química, tamaño, seguridad...**). De esta forma se obtiene almacenes híbridos.

Por otra parte, **se pretende ir actualizando la herramienta** a medida que se desarrollen nuevas tecnologías, formas organizativas, etc., para que la misma siga teniendo validez con el pasar del tiempo (Experto 6). De la misma forma, en futuras investigaciones, se espera ir nutriendo la recopilación de mejores prácticas con más ejemplos de almacenes con altos rendimientos.

Si tuviese para compartir algún caso de un almacén excelente, será bienvenido.

⁸ Se enviaron junto con el cuestionario las tablas de aportaciones y comentarios (Tabla 7.3 – 7.7), así como también la nueva versión del diagrama de estrellas obtenido una vez incorporadas dichas aportaciones.

Segundo cuestionario

Se han recopilado con un primer cuestionario las sugerencias para la mejora y validación de la nueva herramienta soporte para el diseño de almacenes. Las siguientes preguntas pretenden recoger comentarios relacionados a los cambios realizados a la versión original de las “estrellas”, o bien incluir nuevas aportaciones que no hayan sido recogidas hasta el momento. Si considera que alguna de las modificaciones efectuadas no han sido acertadas o que aún quedan alternativas de diseño importantes por incluir, por favor conteste las siguientes preguntas.

¿Considera que las nuevas alternativas incluidas en la herramienta son adecuadas?	
Si	
No	
Justifique su respuesta:	

¿Qué opina de los nuevos niveles agregados en ramas ya existentes?	
(Ej. Separación de Cross-docking puro de las actividades sin stock pero con necesidad de cierta manipulación o transformación del producto)	
Justifique su respuesta:	

¿Está de acuerdo con la incorporación de las nuevas ramas?

(Ej. Origen y tipo de producto y Gestión de datos de pedidos en "Recepción", Mosaico de carga y Tipología de carga en "Expedición")

Justifique su respuesta:

¿Qué opina de los niveles seleccionados para estas nuevas ramas?

Justifique su respuesta:

Se han eliminado algunas ramas de la primera versión de las "estrellas" ¿considera apropiadas las simplificaciones realizadas?

(Ej. Equipos de manutención en el proceso "Almacenaje" dado que estos no se utilizan en la función de almacenaje propiamente, sino en la de ubicación y preparación)

Justifique su respuesta:

Viendo las aportaciones efectuadas por los 10 expertos, ¿cree que aún falta reflejar alguna opción de diseño importante?

Desarrolle:

Anexo 2: Diseños de almacenes de referencia

A continuación se describen los diseños de almacenes de referencia obtenidos gracias a los expertos (del 1 al 6) y una vez llevados a cabo los casos de Investigación en acción (del 7 al 11). Para los mismos se señala el nivel de complejidad y el rendimiento obtenido en términos de calidad y productividad. Estos son una guía práctica para asistir al diseñador durante la selección de configuraciones, completando el cuarto resultado de esta tesis (R4) y contribuyendo a alcanzar el cuarto objetivo (O4).

A1. Caso Sector Gran Consumo, almacén de producto terminado

Con un nivel de complejidad como el mostrado en la Tabla Anexo 2.1, se lograron la productividad y calidad mostradas en las Tabla Anexo 2.2 y Anexo 2.3 respectivamente, implementando la configuración de diseño mostrada en el Diagrama de estrellas de la Figura mostrada a continuación.

Tabla Anexo 2.1 Nivel de complejidad A1

Líneas por orden.	Cantidad por orden.	Unidades de almacenaje (SKUs)	Cantidad de referencias almacenadas
Menos de 100	Menos de 10	Pallets	Menos de 100
Entre 100 y 1000	Entre 10 y 50	Cajas	Entre 100 y 1000
Más de 1000	Más de 50	Unidades	Más de 1000
3	1	2	2

Tabla Anexo 2.2 Productividad A1

Productividad
115 líneas/hr.

Tabla Anexo 2.3 Calidad A1

Líneas de pedido con retrasos	Líneas de pedido con faltantes	Líneas de pedido con errores (sustitución o cantidad)
0%- 0,01%	0%- 0,01%	0%- 0,01%

A2. Caso Sector Repuestos de maquinaria, almacén de componentes

Con un nivel de complejidad como el mostrado en la Tabla Anexo 2.4, se lograron la productividad y calidad mostradas en las Tabla Anexo 2.5 y Anexo 2.6 respectivamente, implementando la configuración de diseño mostrada en el Diagrama de estrellas de la Figura mostrada a continuación.

Tabla Anexo 2.4 Nivel de complejidad A2

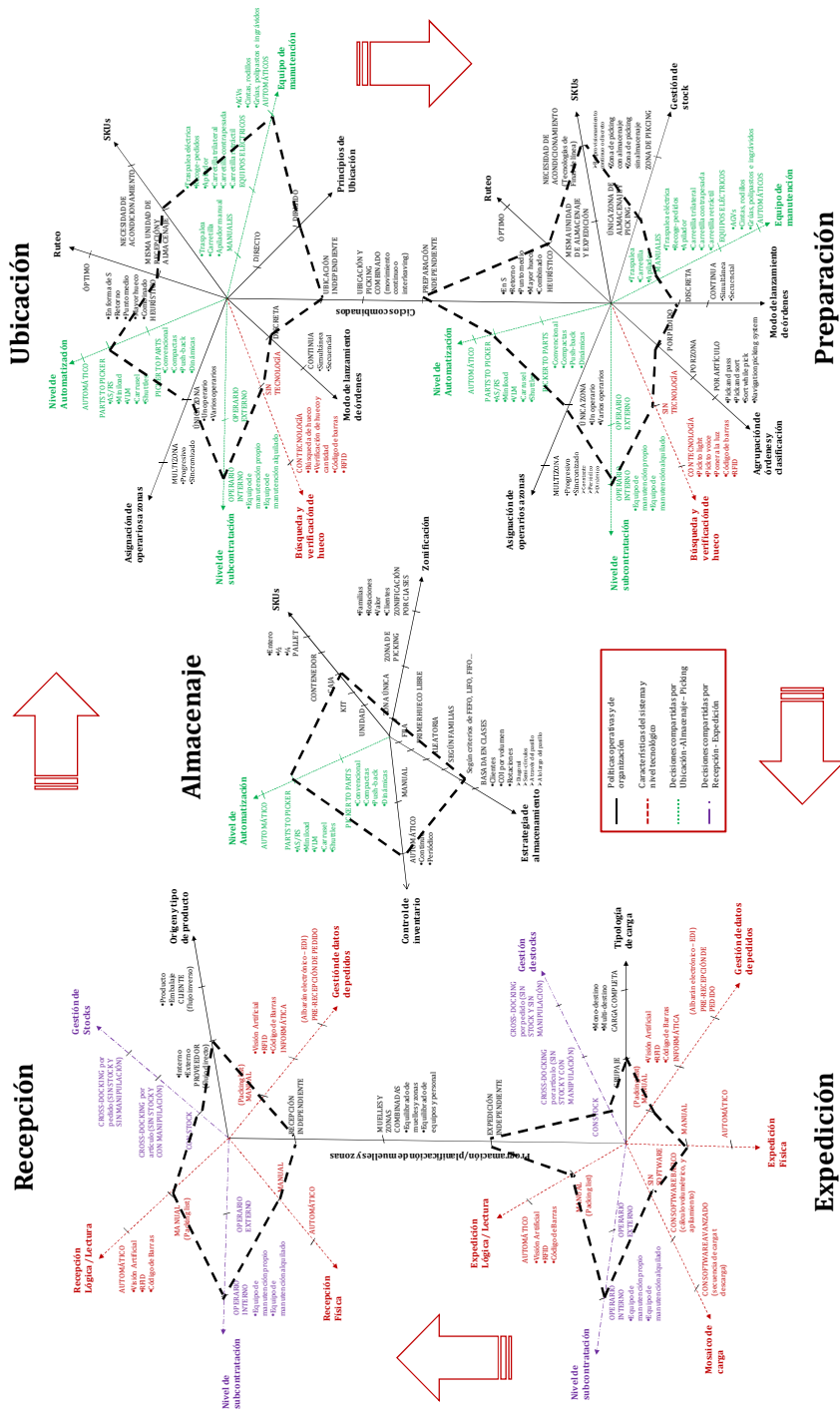
Líneas por orden.	Cantidad por orden.	Unidades de almacenaje (SKUs)	Cantidad de referencias almacenadas
Menos de 100	Menos de 10	Pallets	Menos de 100
Entre 100 y 1000	Entre 10 y 50	Cajas	Entre 100 y 1000
Más de 1000	Más de 50	Unidades	Más de 1000
1	1	2	2

Tabla Anexo 2.5 Productividad A2

Productividad
60 líneas/hr.

Tabla Anexo 2.6 Calidad A2

Líneas de pedido con retrasos	Líneas de pedido con faltantes	Líneas de pedido con errores (sustitución o cantidad)
0,25%- 0,5%	0,1%- 0,25%	0,1%- 0,25%



A3. Caso Sector Elevación - Movilidad, almacén de producto terminado

Con un nivel de complejidad como el mostrado en la Tabla Anexo 2.7, se lograron la productividad y calidad mostradas en las Tabla Anexo 2.8 y Anexo 2.9 respectivamente, implementando la configuración de diseño mostrada en el Diagrama de estrellas de la Figura mostrada a continuación.

Tabla Anexo 2.7 Nivel de complejidad A3

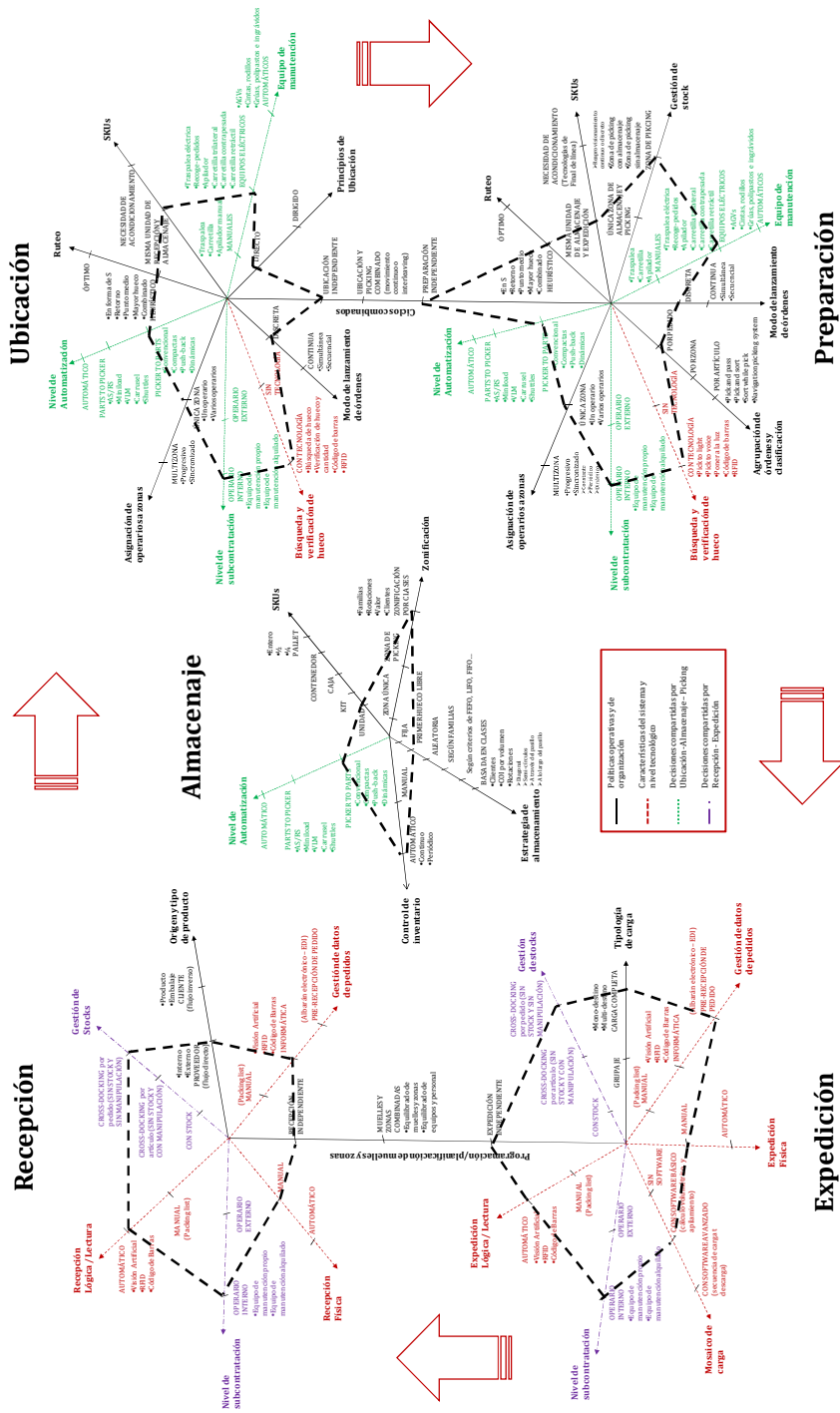
Líneas por orden.	Cantidad por orden.	Unidades de almacenaje (SKUs)	Cantidad de referencias almacenadas
Menos de 100	Menos de 10	Pallets	Menos de 100
Entre 100 y 1000	Entre 10 y 50	Cajas	Entre 100 y 1000
Más de 1000	Más de 50	Unidades	Más de 1000
3	2	2	2

Tabla Anexo 2.8 Productividad A3

Productividad
100 líneas/hr.

Tabla Anexo 2.9 Calidad A3

Pedidos con retrasos	Pedidos con faltantes	Pedido con errores (sustitución o cantidad)
0%- 0,5%	1%- 5%	0,5%- 1%



Ubicación

Preparación

Almacenaje

Recepción

Expedición

A4. Caso Sector Bienes industriales, almacén de producto terminado

Con un nivel de complejidad como el mostrado en la Tabla Anexo 2.10, se lograron la productividad y calidad mostradas en las Tabla Anexo 2.11 y Anexo 2.12 respectivamente, implementando la configuración de diseño mostrada en el Diagrama de estrellas de la Figura mostrada a continuación.

Tabla Anexo 2.10 Nivel de complejidad A4

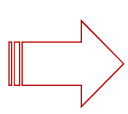
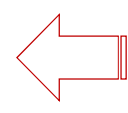
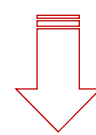
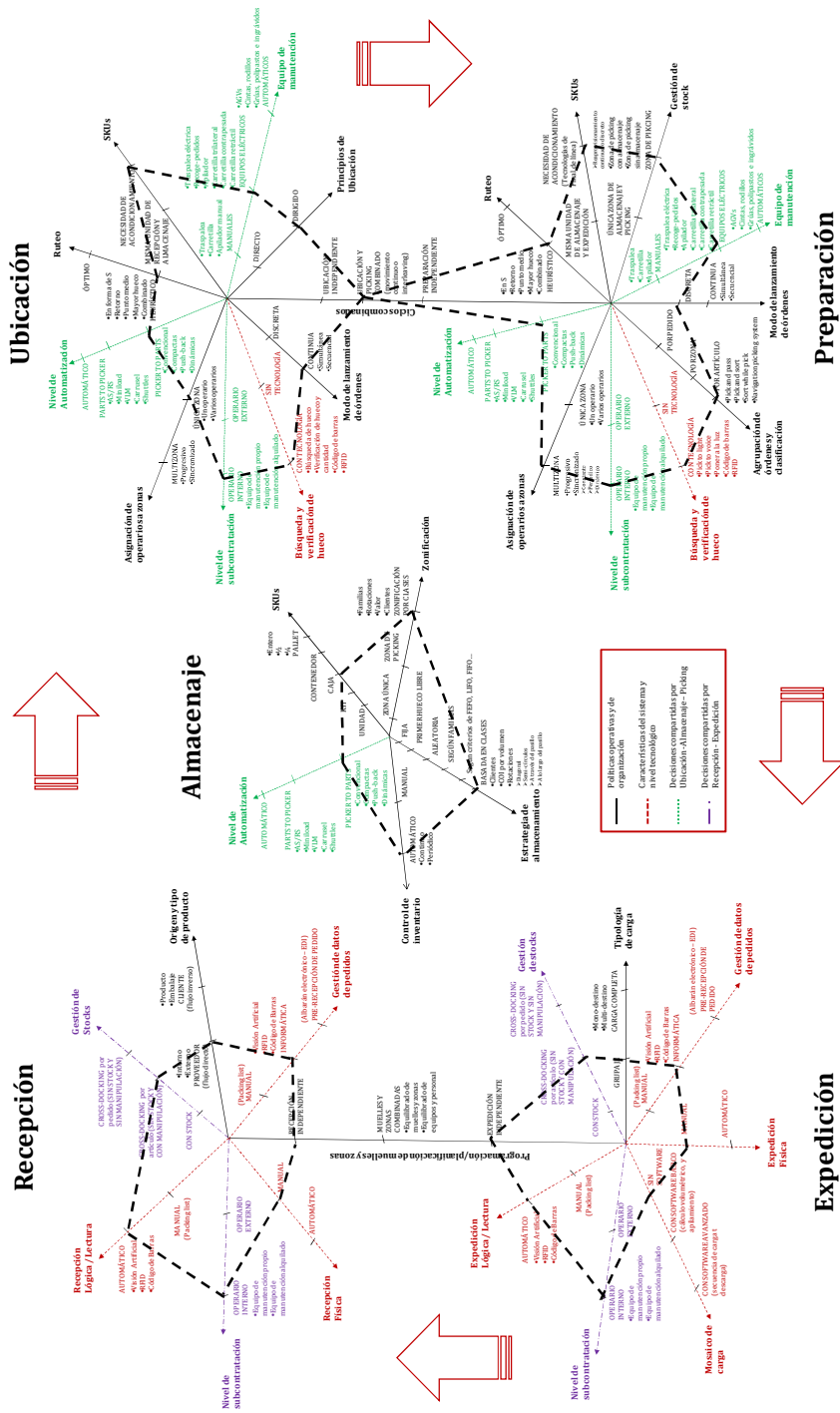
Líneas por orden.	Cantidad por orden.	Unidades de almacenaje (SKUs)	Cantidad de referencias almacenadas
Menos de 100	Menos de 10	Pallets	Menos de 100
Entre 100 y 1000	Entre 10 y 50	Cajas	Entre 100 y 1000
Más de 1000	Más de 50	Unidades	Más de 1000
3	3	2	3

Tabla Anexo 2.11 Productividad A4

Productividad
120 líneas/hr.

Tabla Anexo 2.12 Calidad A4

Pedidos con retrasos	Pedidos con faltantes	Pedido con errores (sustitución o cantidad)
0%- 0,5%	0%- 0,1%	0%- 0,1%



A5. Caso Sector Bienes industriales, almacén de producto terminado

Con un nivel de complejidad como el mostrado en la Tabla Anexo 2.13, se lograron la productividad y calidad mostradas en las Tabla Anexo 2.14 y Anexo 2.15 respectivamente, implementando la configuración de diseño mostrada en el Diagrama de estrellas de la Figura mostrada a continuación.

Tabla Anexo 2.13 Nivel de complejidad A5

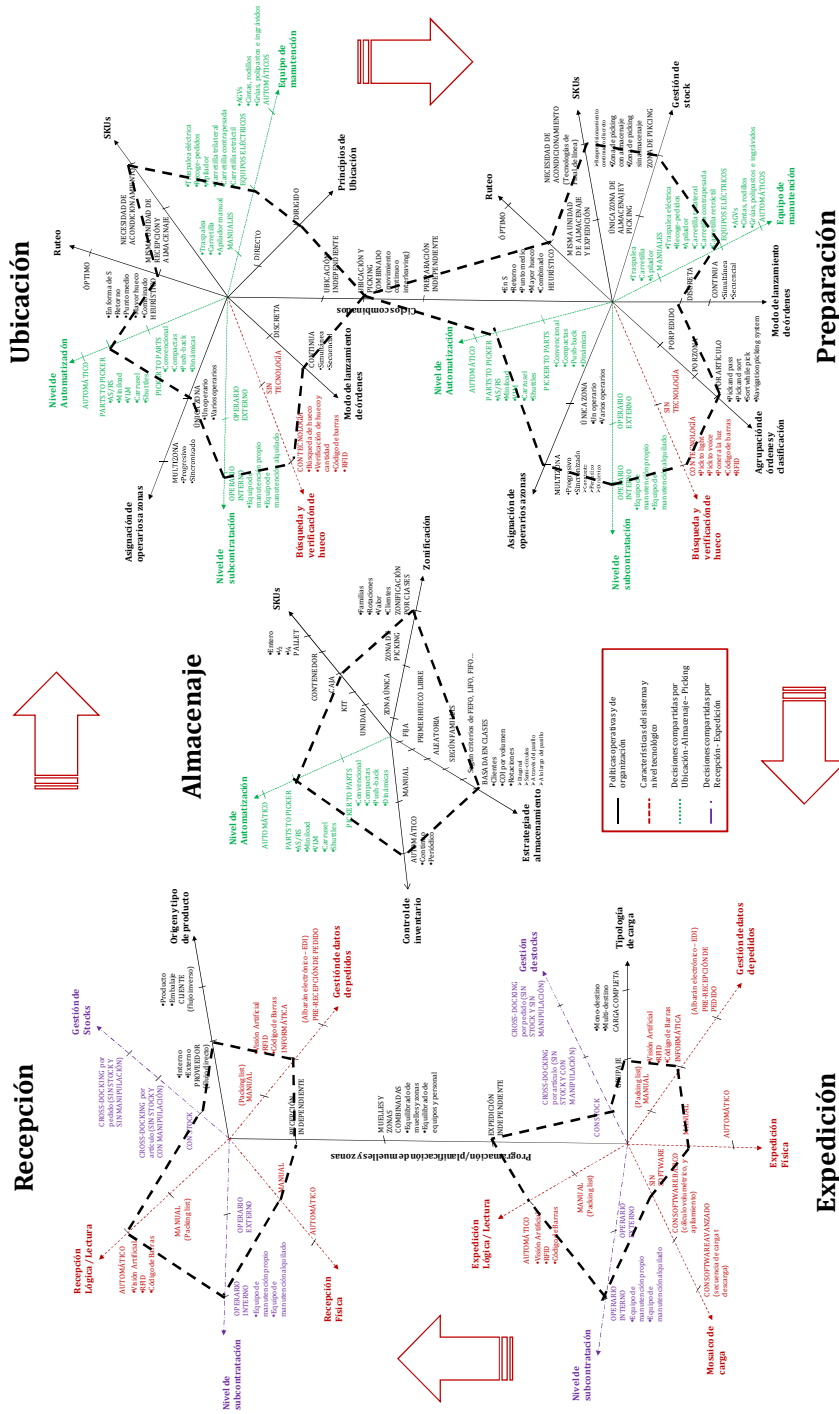
Líneas por orden.	Cantidad por orden.	Unidades de almacenaje (SKUs)	Cantidad de referencias almacenadas
Menos de 100	Menos de 10	Pallets	Menos de 100
Entre 100 y 1000	Entre 10 y 50	Cajas	Entre 100 y 1000
Más de 1000	Más de 50	Unidades	Más de 1000
2	1	2	3

Tabla Anexo 2.14 Productividad A5

Productividad
600 líneas/hr.

Tabla Anexo 2.15 Calidad A5

Pedidos con retrasos	Pedidos con faltantes	Pedido con errores (sustitución o cantidad)
0%- 0,1%	0%- 0,1%	0%- 0,1%



A6. Caso Sector Gran Consumo, almacén de producto terminado

Con un nivel de complejidad como el mostrado en la Tabla Anexo 2.16, se lograron la productividad y calidad mostradas en las Tabla Anexo 2.17 y Anexo 2.18 respectivamente, implementando la configuración de diseño mostrada en el Diagrama de estrellas de la Figura mostrada a continuación.

Tabla Anexo 2.16 Nivel de complejidad A6

Líneas por orden.	Cantidad por orden.	Unidades de almacenaje (SKUs)	Cantidad de referencias almacenadas
Menos de 100	Menos de 10	Pallets	Menos de 100
Entre 100 y 1000	Entre 10 y 50	Cajas	Entre 100 y 1000
Más de 1000	Más de 50	Unidades	Más de 1000
3	1	1	3

Tabla Anexo 2.17 Productividad A6

Productividad
450 líneas/hr.

Tabla Anexo 2.18 Calidad A6

Líneas de pedido con retrasos	Líneas de pedido con faltantes	Líneas de pedido con errores (sustitución o cantidad)
0,5%- 1 %	0,5%- 1 %	0,1%- 0,25%

A7. Caso Sector electrodomésticos, almacén de mini-doméstico

Con un nivel de complejidad como el mostrado en la Tabla Anexo 2.19, se lograron la productividad y calidad mostradas en las Tabla Anexo 2.20 y Anexo 2.21 respectivamente, implementando la configuración de diseño mostrada en el Diagrama de estrellas de la Figura mostrada a continuación.

Tabla Anexo 2.19 Nivel de complejidad A7

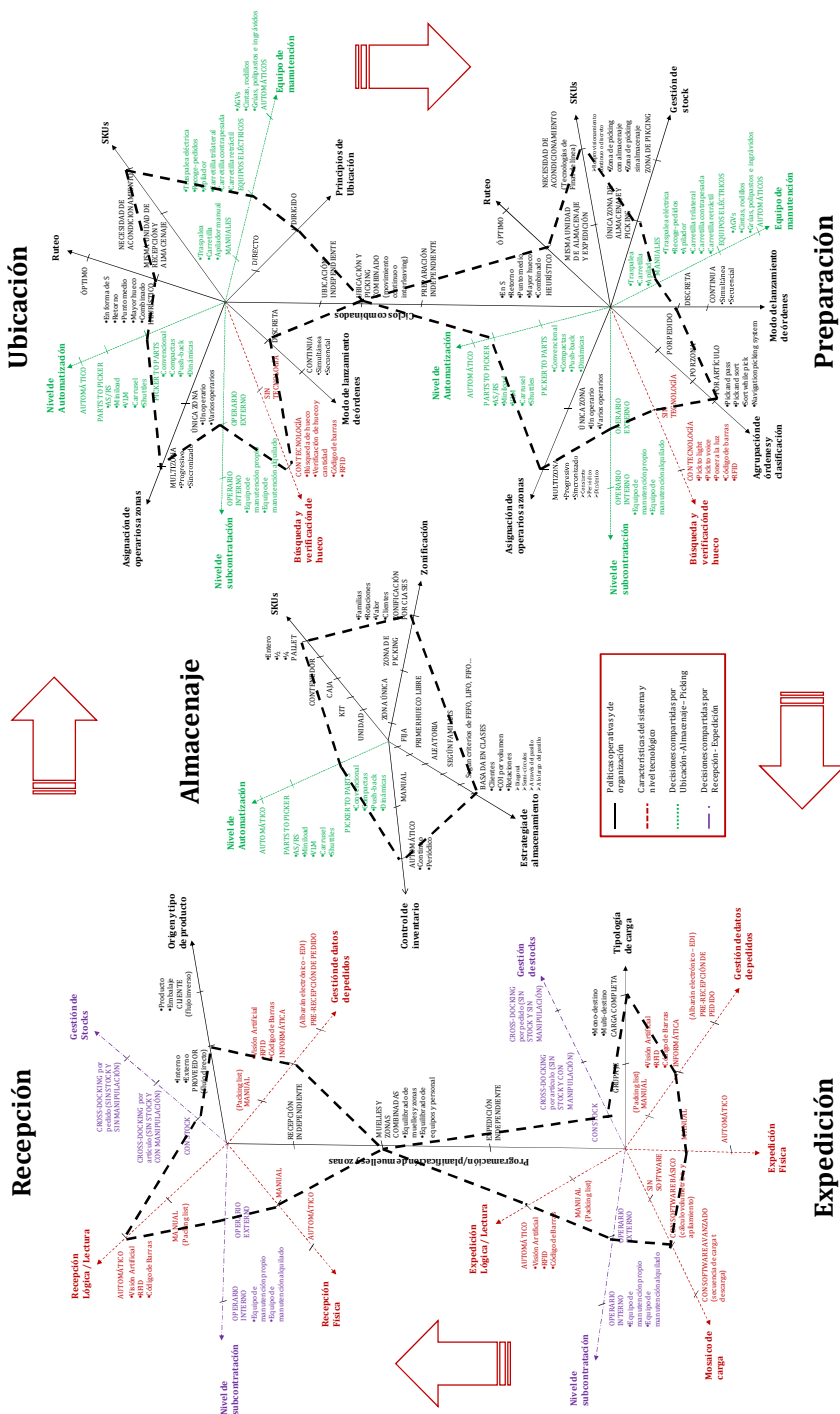
Líneas por orden	Cantidad por orden	Unidades de almacenaje (SKUs)	Cantidad de referencias almacenadas
Menos de 100	Menos de 10	Pallets	Menos de 100
Entre 100 y 1000	Entre 10 y 50	Cajas	Entre 100 y 1000
Más de 1000	Más de 50	Unidades	Más de 1000
2	1	1	2

Tabla Anexo 2.20 Productividad A7

Productividad
500 líneas/hr.

Tabla Anexo 2.21 Calidad A7

Líneas de pedido con retrasos	Líneas de pedido con faltantes	Líneas de pedido con errores (sustitución o cantidad)
0,5%- 1%	0,5%- 1%	0,01%- 0,1%



A8. Caso Sector electrodomésticos, almacén de línea blanca

Con un nivel de complejidad como el mostrado en la Tabla Anexo 2.22, se lograron la productividad y calidad mostradas en las Tabla Anexo 2.23 y Anexo 2.24 respectivamente, implementando la configuración de diseño mostrada en el Diagrama de estrellas de la Figura mostrada a continuación.

Tabla Anexo 2.22 Nivel de complejidad A8

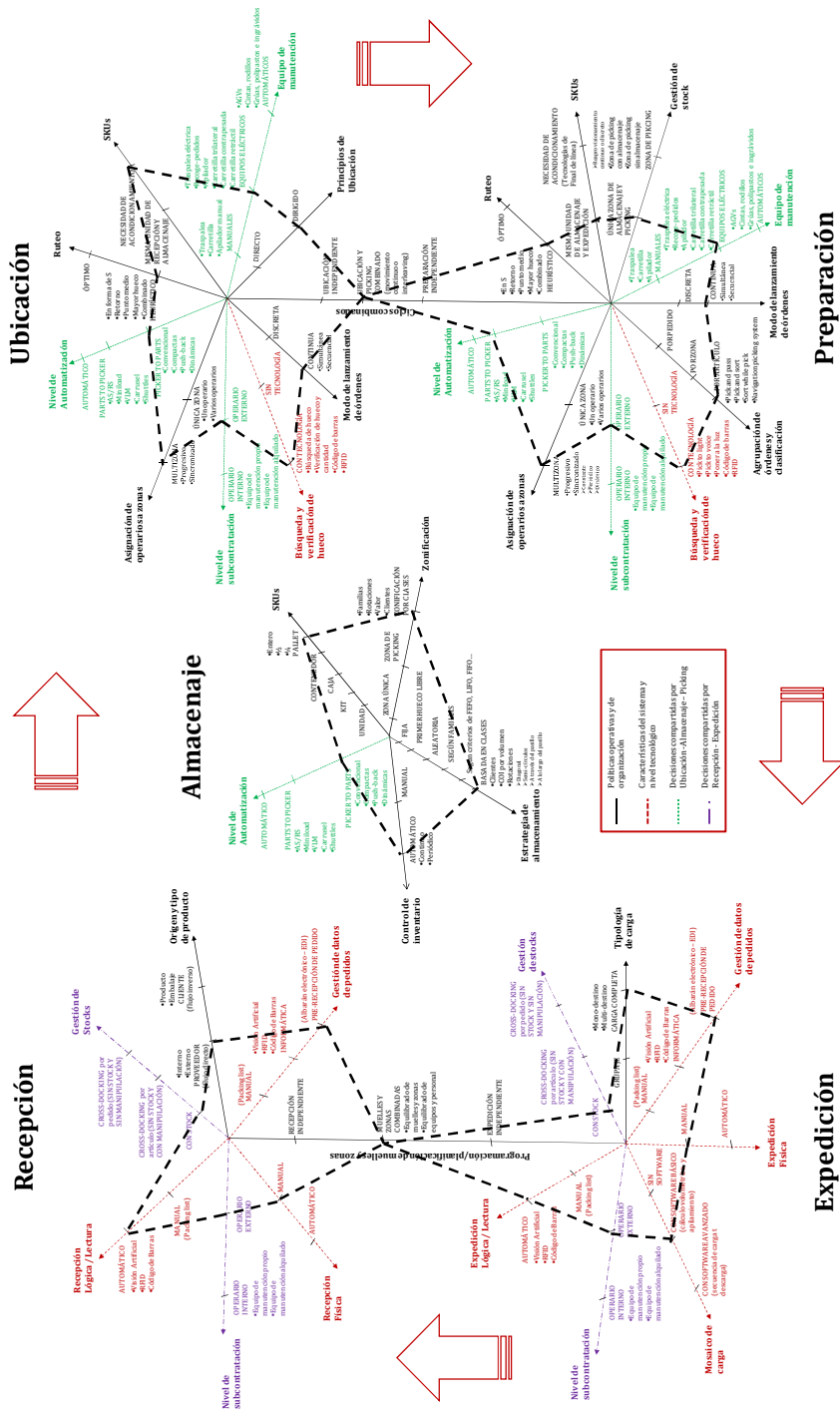
Líneas por orden	Cantidad por orden	Unidades de almacenaje (SKUs)	Cantidad de referencias almacenadas
Menos de 100	Menos de 10	Pallets	Menos de 100
Entre 100 y 1000	Entre 10 y 50	Cajas	Entre 100 y 1000
Más de 1000	Más de 50	Unidades	Más de 1000
3	1	1	3

Tabla Anexo 2.23 Productividad A8

Productividad
800 líneas/hr.

Tabla Anexo 2.24 Calidad A8

Líneas de pedido con retrasos	Líneas de pedido con faltantes	Líneas de pedido con errores (sustitución o cantidad)
0,5%- 1%	0,5%- 1%	0%- 0,01%



A9. Caso Sector elevación, almacén de ascensores

Con un nivel de complejidad como el mostrado en la Tabla Anexo 2.25, se lograron la productividad y calidad mostradas en las Tabla Anexo 2.26 y Anexo 2.27 respectivamente, implementando la configuración de diseño mostrada en el Diagrama de estrellas de la Figura mostrada a continuación.

Tabla Anexo 2.25 Nivel de complejidad A9

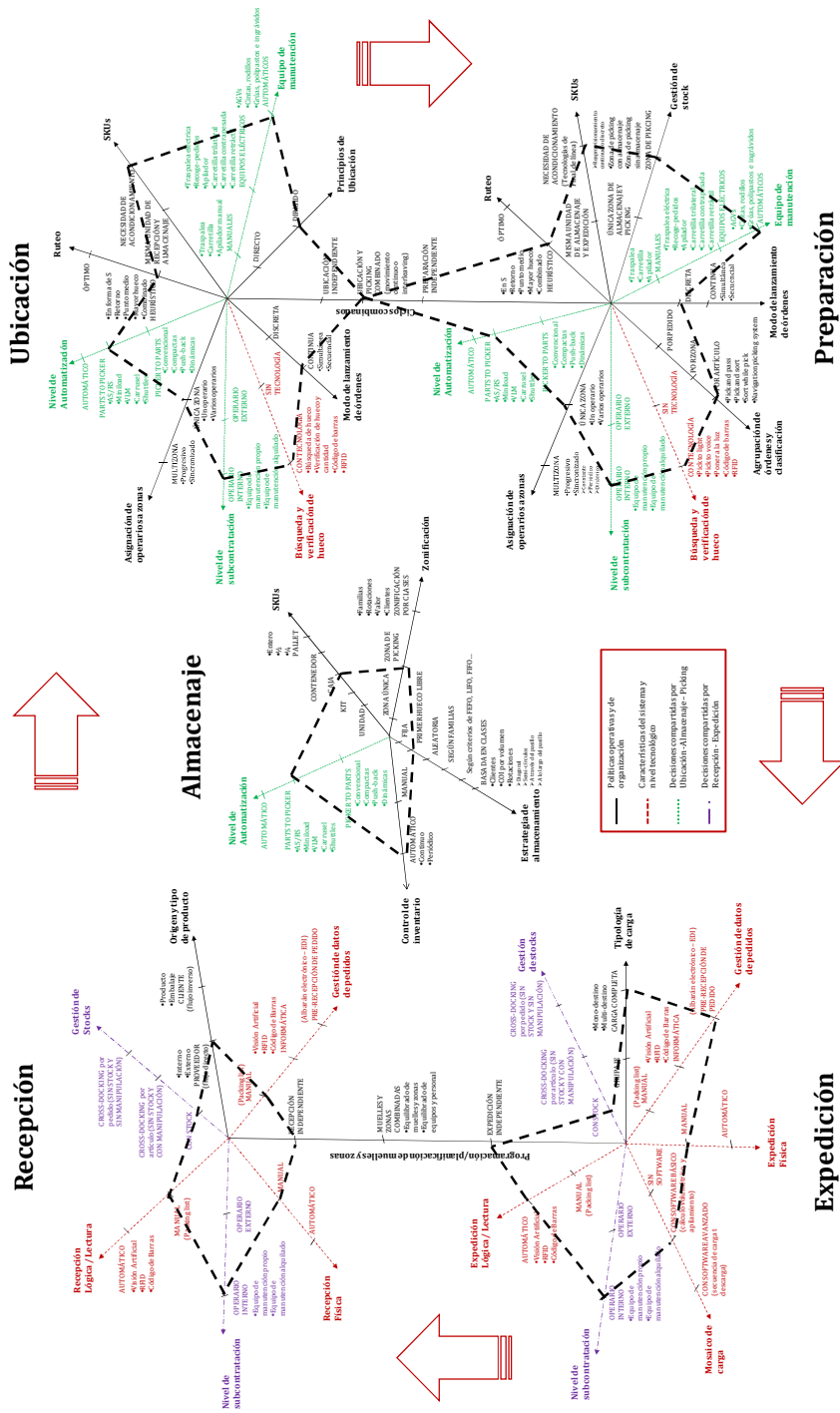
Líneas por orden	Cantidad por orden	Unidades de almacenaje (SKUs)	Cantidad de referencias almacenadas
Menos de 100	Menos de 10	Pallets	Menos de 100
Entre 100 y 1000	Entre 10 y 50	Cajas	Entre 100 y 1000
Más de 1000	Más de 50	Unidades	Más de 1000
2	2	2	3

Tabla Anexo 2.26 Productividad A9

Productividad
300 líneas/hr.

Tabla Anexo 2.27 Calidad A9

Líneas de pedido con retrasos	Líneas de pedido con faltantes	Líneas de pedido con errores (sustitución o cantidad)
0%- 0,5%	0%- 0,5%	0,01% - 0,05%



Anexo 2: Diseños de almacenes de referencia

A10. Caso Sector Gran Consumo, almacén de Parafarmacia

Con un nivel de complejidad como el mostrado en la Tabla Anexo 2.28, se lograron la productividad y calidad mostradas en las Tabla Anexo 2.29 y Anexo 2.30 respectivamente, implementando la configuración de diseño mostrada en el Diagrama de estrellas de la Figura mostrada a continuación.

Tabla Anexo 2.28 Nivel de complejidad A10

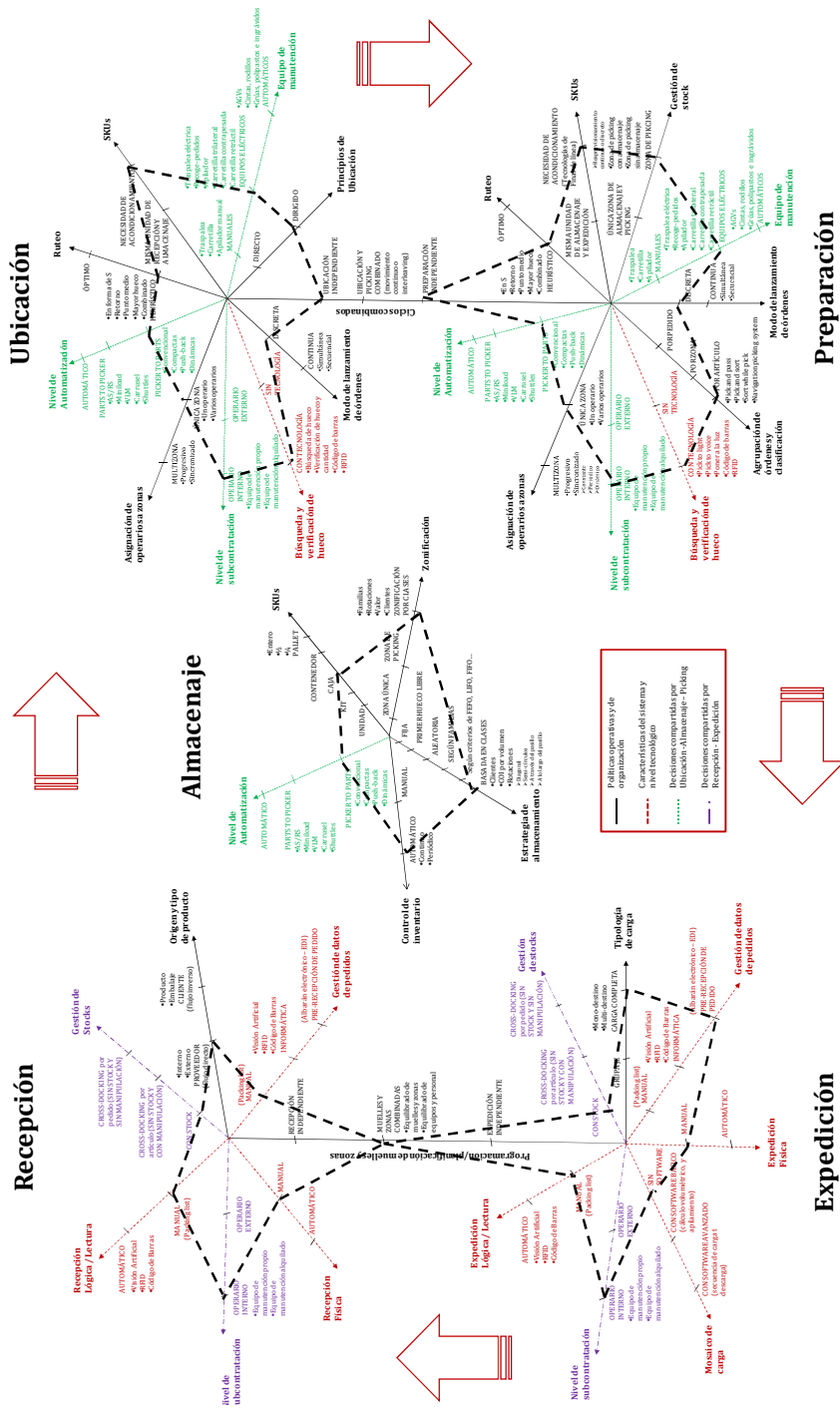
Líneas por orden	Cantidad por orden	Unidades de almacenaje (SKUs)	Cantidad de referencias almacenadas
Menos de 100	Menos de 10	Pallets	Menos de 100
Entre 100 y 1000	Entre 10 y 50	Cajas	Entre 100 y 1000
Más de 1000	Más de 50	Unidades	Más de 1000
2	1	3	2

Tabla Anexo 2.29 Productividad A10

Productividad
90 líneas/hr.

Tabla Anexo 2.30 Calidad A10

Líneas de pedido con retrasos	Líneas de pedido con faltantes	Líneas de pedido con errores (sustitución o cantidad)
0%- 0,01%	0%- 0,01%	0%- 0,01%



A11. Caso Sector Repuestos de maquinaria

Con un nivel de complejidad como el mostrado en la Tabla Anexo 2.31, se lograron la productividad y calidad mostradas en las Tabla Anexo 2.32 y Anexo 2.33 respectivamente, implementando la configuración de diseño mostrada en el Diagrama de estrellas de la Figura mostrada a continuación.

Tabla Anexo 2.31 Nivel de complejidad A11

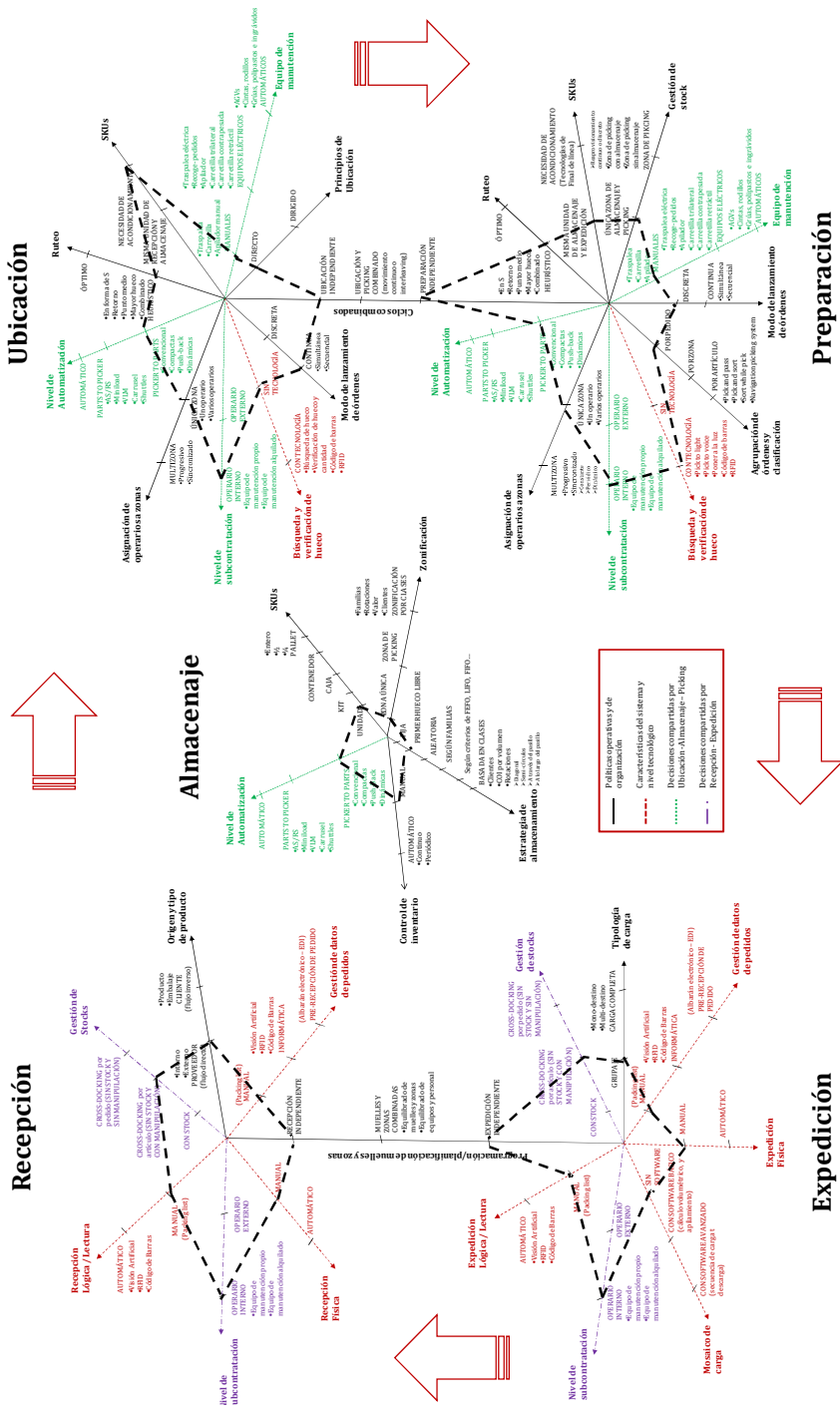
Líneas por orden.	Cantidad por orden.	Unidades de almacenaje (SKUs)	Cantidad de referencias almacenadas
Menos de 100	Menos de 10	Pallets	Menos de 100
Entre 100 y 1000	Entre 10 y 50	Cajas	Entre 100 y 1000
Más de 1000	Más de 50	Unidades	Más de 1000
2	1	3	2

Tabla Anexo 2.32 Productividad A11

Productividad
100 líneas/hr.

Tabla Anexo 2.33 Calidad A11

Líneas de pedido con retrasos	Líneas de pedido con faltantes	Líneas de pedido con errores (sustitución o cantidad)
0,5%- 1%	0,25%- 0,5%	0,25%- 0,5%



Ubicación

Almacenaje

Recepción

Preparación

Expedición

Publicaciones

Ponencias en conferencias internacionales

(1) **Autores:** Ander Errasti, Claudia Chackelson, Raúl Poler

Título: An Expert System for Inventory Replenishment Optimization

Congreso: 9th IFIP International Conference on Information Technology for Balanced Automation Systems (BASYS 2010)

Lugar y fecha de Celebración: Valencia, España. Junio 2010

(2) **Autores:** Ander Errasti, Alfonso Moreno, Claudia Chackelson, Maider Ubarrechena, Mikel Arcelus

Título: “Metodología de enseñanza basada en juegos de rol para el aprendizaje. Comparación de alternativas organizativas en la gestión logística de almacenes”

Congreso: Segunda Conferencia Internacional en Fomento e Innovación con Nuevas Tecnologías en la Docencia de la Ingeniería (FINTDI 2011)

Lugar y fecha de Celebración: Teruel, España. Mayo 2011

(3) **Autores:** Ander Errasti, Claudia Chackelson, Carmen Jaca

Título: Mejora En El Rendimiento De Un Centro De Distribución A Través Del Rediseño Del Sistema De Preparación De Pedidos: Estudio De Caso

Congreso: 4th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management - XIV Congreso De Ingeniería De Organización. (CIO)

Lugar y fecha de Celebración: Donostia- San Sebastián, España. Septiembre 2010

(4) **Autores:** Ander Errasti, Claudia Chackelson, Javier Santos

Título: Sistema experto de mejora de la gestión de inventarios soportado en métodos de previsión de demanda: estudio de caso

Congreso: 4th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management - XIV Congreso De Ingeniería De Organización (CIO)

Lugar y fecha de Celebración: Donostia- San Sebastián, España. Septiembre 2010

(5) **Autores:** Claudia Chackelson, Ander Errasti, María Jesús Álvarez

Título: "Improving Picking Productivity By Redesigning Storage Policy Aided By Simulations Tools"

Congreso: 5th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management. Xv Congreso De Ingeniería De Organización (CIO)

Lugar y fecha de Celebración: Cartagena, España. Septiembre 2011

(6) **Autores:** Claudia Chackelson, Martín Tanco, Elizabeth Viles

Título: "A Flexible Order Picking Design Approach towards World Class Warehousing"

Congreso: International Conference on Advances in Production Management Systems (APMS)

Lugar y fecha de Celebración: Stavanger, Noruega. Septiembre 2011

(7) **Autores:** Claudia Chackelson, Ander Errasti, Marco Melacini, Javier Santos

Título: “Warehouse design: validation of a new methodology through empirical research”

Congreso: European Operations Management Association (EurOMA)

Lugar y fecha de Celebración: Ámsterdam, Holanda. Julio 2012

(8) **Autores:** Claudia Chackelson, Ander Errasti, Sandra Martinez, Javier Santos

Título: “Supply Strategy Configuration in Fragmented Production Systems: an Empirical Study”

Congreso: International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management (CIO)

Lugar y fecha de Celebración: Vigo, España. Julio 2012

Publicaciones en revistas científicas o libros

(9) **Autores:** Errasti A, Chackelson C, Arcelus M.

Título: “Estado Del Arte Y Retos Para La Mejora De Sistemas De Preparación De Pedidos En Almacenes – Estudio Delphi”.

Revista: Dirección Y Organización, 2010 Vol.40, P.78-85

Indexado en Scopus

(10) **Autores:** Claudia Chackelson, Ander Errasti

Título: “Validación De Un Sistema Experto Para Mejorar La Gestión De Inventarios Mediante Estudios De Caso”.

Revista: Memoria De Trabajos De Difusión Científica Y Técnica, 2010 Número 8

Indexado en Latindex

(11) **Autores:** Ander Errasti, Claudia Chackelson, Raúl Poler

Título: “Definición De Un Sistema Experto Para Mejorar De La Gestión De Inventarios: Estudio De Caso”.

Revista: Dirección Y Organización, Núm. 46 (abril 2012)

Indexado en Scopus

(12) **Autores:** Claudia Chackelson, Ander Errasti, David Cipres, Fernando Lahoz

Título: “Diseño De Un Sistema De Picking Producto A Operario. Aplicación Del Diseño De Experimentos Mediante Simulación De Eventos Discretos”.

Revista: Dyna 86 (5) 515-522

Indexado en Journal Citation Report (ISI)

Factor de impacto 0,171 (Q4)

(13) **Autores:** Ander Errasti, Claudia Chackelson, Raúl Poler

Título: "An Expert System for Inventory Replenishment Optimization".

Libro de artículos seleccionados: IFIP Advances in Information and Communication Technology 322, 129-136, DOI: 10.1007/978-3-642-14341-0_15

Publicado por: Springer

(14) **Autores:** Ander Errasti Opacua, Claudia Chackelson, Leire Zubía

Capítulo 10: "Sistemas De Aprovisionamiento En Flujos Con Stock"

Libro: "Logística De Almacenaje. Diseño Y Gestión De Almacenes Y Plataformas Logísticas. World Class Warehousing"

Publicado por: Ediciones Pirámide (Grupo Anaya), 2011. ISBN 978-84-368-2540-4

(15) **Autores:** Claudia Chackelson, Ander Errasti, Martín Tanco

Título: "A World Class Order Picking Methodology: An Empirical Validation."

Libro de artículos seleccionados: Advances in Production Management Systems. Value Networks: Innovation, Technologies, and Management. Series: IFIP Advances in Information and Communication Technology, Vol. 384

Publicado por: Springer

(16) **Autores:** Claudia Chackelson, Ander Errasti, Sandra Martinez, Javier Santos

Título: "Supply Strategy Configuration in Fragmented Production Systems: an Empirical Study"

Revista: Journal of Industrial Engineering and Management

Indexado en Scopus

(17) **Autores:** Claudia Chackelson, Ander Errasti

Capítulo 10: Distribution planning and warehousing material flow and equipment design.

Libro: Global Production Networks Operations Design and Management, Second Edition, 2013

Publicado por: T&F

(18) **Autores:** Claudia Chackelson, Ander Errasti, David Ciprés, Fernando Lahoz

Título: "Evaluating order picking performance triad-offs by configuring main operating strategies: a design of experiments approach"

Revista: International Journal of Production Research

Estado: Aceptado

Indexado en Journal Citation Report (ISI)

Factor de impacto 1,115 (Q2)
