

## **Un modelo de referencia tecnológico para el diseño estratégico de almacenes**

**Manuel Cardós<sup>1</sup>, Eugenia Babiloni<sup>1</sup>, Gonzalo Grau<sup>1</sup>, José Miguel Albarracín<sup>1</sup>, Marta Palmer<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Dpto. de Organización de Empresas. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n, 46022. Valencia. mcardos@doe.upv.es, mcardos@doe.upv.es, mcardos@doe.upv.es, mcardos@doe.upv.es, mcardos@doe.upv.es, mcardos@doe.upv.es

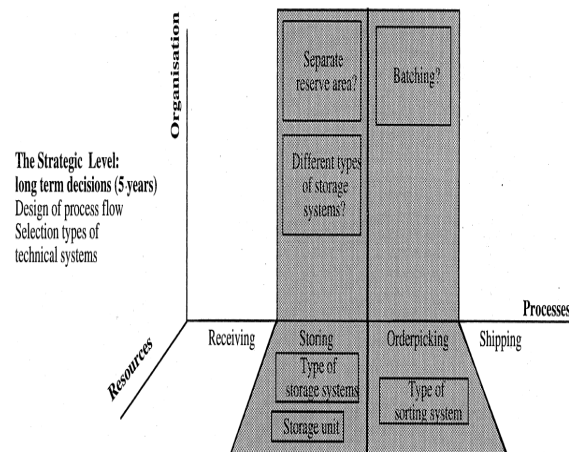
**Palabras clave:** Almacenes, modelo de referencia, tecnología, diseño estratégico

### **1. Introducción**

Goetschalckx et al. (2003) describen el diseño de almacenes como una actividad con una complejidad y variedad abrumadoras, donde no existen modelos monolíticos manejables, hay que recurrir a enfoques jerárquicos iterativos y modelos analíticos aproximados, de tal forma que la simulación se utiliza para la elección final. Sin embargo, Johnson y Logfren (1994) exponen los peligros de realizar una simulación demasiado detallada del sistema completo, fundamentalmente grandes retrasos en su finalización. También señalan que la descomposición del modelo global puede suponer la obtención de soluciones subóptimas.

Posteriormente Rouwenhorst et al. (2000) desarrollan un modelo de referencia para el diseño de almacenes basado en los recursos, los procesos y la organización. Encuentran que la práctica totalidad de la literatura se centra en problemas aislados bien definidos con un enfoque habitualmente analítico. Sin embargo, los problemas encontrados durante el diseño de almacenes no están bien definidos y a menudo no pueden reducirse a múltiples problemas aislados, por lo que se requiere una mezcla de capacidades analíticas y creatividad. Por tanto se precisa investigación dirigida a la integración de modelos y métodos para desarrollar una metodología para el diseño sistemático de almacenes. En el nivel estratégico el primer problema de diseño es la capacidad técnica: la unidad de almacenamiento, el sistema de almacenamiento y los equipos deben ser apropiados para los productos y los pedidos. Este problema de diseño tiene que ver tanto con el diseño del flujo del proceso como con la selección de los sistemas de almacenamiento. Los datos de este problema son las características de los productos y los pedidos; los resultados especifican qué combinaciones de sistemas son técnicamente capaces de manejar los productos y cumplir las restricciones de desempeño. Los resultados no especifican un sistema, ni siquiera un número reducido de alternativas, sino un número limitado de posibles combinaciones de sistemas de almacenamiento que satisfacen los requisitos técnicos y de rendimiento (especialmente producción, tiempos de respuesta y capacidad de almacenamiento). El segundo problema de diseño consiste en el diseño del flujo de proceso y la selección de los sistemas de almacenamiento según consideraciones económicas. El resultado es optimizar las posibles combinaciones de sistemas seleccionadas en la fase anterior, buscando con ello la inversión y costes operativos mínimos. Existe una fuerte interrelación entre varios problemas en el nivel estratégico, por lo que idealmente deberían agruparse en un solo problema simultáneo. Por razones prácticas, parece inevitable alguna descomposición del problema, pero sigue siendo

extremadamente importante modelar explícitamente las relaciones en cualquier posible descomposición.



**Figura 1.** Problemas del diseño estratégico según Rouwenhorst et al. (2000)

También presentan una revisión de trabajos sobre los problemas de diseño en el nivel estratégico organizada en los dos grupos de problemas expuestos anteriormente: primero la selección de sistemas y equipos basados en capacidades técnicas y en segundo lugar el diseño del flujo del proceso y la selección de los sistemas de almacenamiento según consideraciones económicas. No encuentran publicaciones dirigidas al primer grupo de problemas, pero sí un número limitado de publicaciones para el segundo grupo. En conclusión, es muy reducido el número de publicaciones sobre los problemas de diseño en el nivel estratégico a pesar de que en este nivel se adoptan las decisiones de mayor trascendencia. La mayoría de las publicaciones analizan el desempeño de un almacén para poder comparar con otras alternativas. Sólo una publicación analiza explícitamente varios sistemas alternativos de almacenamiento.

Por otra parte, McGinnis (2003) plantea la necesidad de disponer de modelos de referencia capaces de abordar necesidades básicas como:

- Descripción: queda mucho trabajo para integrar las abstracciones descriptivas actuales y desarrollar nuevas. Es necesario ser capaz de describir un almacén (incluso genéricamente) con mucho detalle, pero también es necesario poder moverse entre descripciones muy detalladas y otras más abstractas.
- Predicción: no hay modelos integrados predictivos salvo la simulación. No es muy difícil predecir el comportamiento de un único recurso para una sola operación (p.ej. conducir una carretilla durante un trayecto definido), pero sí lo es predecir el comportamiento de un conjunto de tareas. Hay aproximaciones para algunos subsistemas (p.ej. AS/RS) pero deben ser refinadas e integradas.
- Control: queda mucho trabajo para establecer una teoría creíble sobre la toma de decisiones en los almacenes. Algunos tipos de decisiones están bien investigadas (rutas de picking) mientras que otras lo están mucho menos (lotificación de pedidos, asignación de ubicaciones).
- Diseño: no hay mucho trabajo sobre el diseño integrado de almacenes. Hasta ahora el diseño de almacenes se ha visto casi exclusivamente como diseño de los equipos físicos, con herramientas burdas para la especificación de requerimientos y con poca consideración del control.

El objetivo central de este documento es proponer un modelo de referencia de las tecnologías utilizables en un almacén capaz de responder al menos a las dos primeras necesidades anteriores.

## **2. Modelo de referencia propuesto**

La necesidad de un modelo de referencia para el diseño estratégico de almacenes se basa fundamentalmente en los mismos criterios que deben usarse para evaluar su adecuación:

- Capacidad para describir almacenes existentes, incluyendo sus elementos y relaciones entre ellos,
- Posibilidad de modelar con diferentes niveles de detalle según el uso previsto.
- Capacidad para evaluar la factibilidad de las configuraciones tecnológicas que puedan proponerse.
- Capacidad para evaluar los costes operativos e inversión necesaria de una configuración propuesta.

El modelo de referencia que se propone se basa en considerar tres vistas principales (categorías de artículos, estado de los materiales y procesos).

## **3. Categorías de artículos**

Las decisiones que se adoptan en los almacenes con frecuencia giran alrededor del concepto de artículo, que debe entenderse como artículo de almacenamiento (SKU o stock keeping unit en la literatura) y nunca como artículo comercial. Las diferencias entre ellos suelen estar ocasionadas por la presencia de lotes u otros atributos apreciados por los clientes.

El elevado número de artículos que suele manejar un almacén exige la agrupación de los mismos en categorías de artículos afines, de forma que los artículos pertenecientes a una categoría pueden ser gestionados con las mismas tecnologías de almacenamiento, manutención y gestión. Además, la definición de las categorías proporciona una perspectiva adecuada de la evolución prevista dentro del horizonte de toma de decisiones del tipo de materiales que deben manejarse y los niveles de actividad asociados.

Para la definición de las categorías de artículos deben al menos considerarse las características físicas de los materiales, sus condiciones de conservación, perfiles de inventario para cada formato logístico y perfiles de pedido para cada formato logístico. En la práctica estas categorías se establecen según la experiencia del personal involucrado puesto que no estén técnicas desarrolladas específicamente para este propósito.

### **3.1. Estados de los materiales**

Los materiales que se manejan en un almacén deben verse como sujetos de una transformación cuyo propósito es contribuir con ello al cumplimiento de los objetivos de negocio establecidos, aportando valor a la cadena de suministro de la que forman parte. Por ejemplo, es frecuente que un almacén reciba de sus proveedores paletas monoreferencia pero que deban entregar a sus clientes paletas multireferencia realizando para ello las operaciones que sea necesario.

Los estados de los materiales deben definirse de acuerdo con los atributos que reflejan su transformación, entre los que se encuentran:

- Formato logístico (paleta, paleta multireferencia, retráctil, caja, caja multireferencia, blister, unidad) en el que se presentan los materiales.

- Criterio de ordenación (proveedor, artículo, pedido, cliente) reconocible en la disposición física con la que se colocan los formatos logísticos anteriores.
- Nivel de agregación (individual, agrupación parcial, agrupación completa) que complementa el criterio de ordenación anterior y que con frecuencia es necesario considerar cuando la ordenación es por pedido.

Los estados de los materiales y las transiciones entre ellos pueden representarse mediante diagramas de estado, en los cuales también se mencionan los procesos que ocasionan esas transiciones.

### **3.2. Procesos**

Representamos mediante procesos: (a) la transformación de los estados de los materiales de acuerdo con el diagrama de estado anterior; y (b) el almacenamiento de los materiales en cada estado. Por ejemplo, pertenecen al primer tipo la descarga de camiones, la colocación en estanterías, la reposición de picking, la preparación de pedidos y la expedición; por otra parte pertenecen al segundo tipo el almacenamiento en bloques apilados y el almacenamiento en carruseles verticales.

La representación de los procesos puede realizarse mediante diagramas IDEF0 indicando:

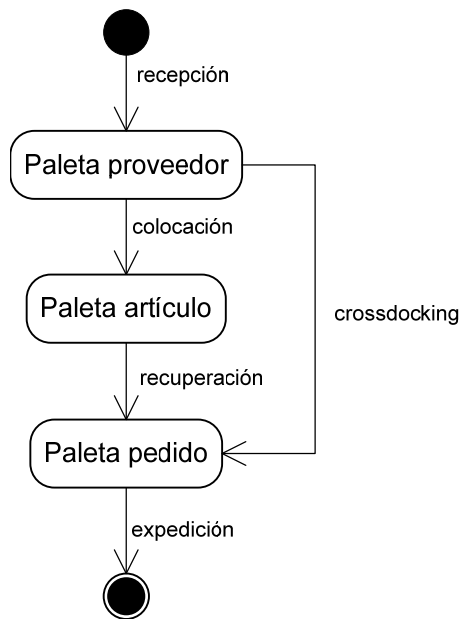
- Entradas y salidas: los estados de los materiales al inicio y al final del proceso.
- Mecanismo: las tecnologías de almacenamiento y de manutención empleadas.
- Control: las políticas de gestión aplicadas.

El detalle con que se definen los procesos permite dimensionar los recursos tecnológicos necesarios a partir de sus entradas (procesos orientados al almacenamiento o a la clasificación) o de sus salidas (procesos orientados a la preparación de pedidos). Además permiten el cálculo de los costes e inversión asociados a cada proceso, así como los generales del almacén como consecuencia de las infraestructuras y sistemas generales que precisen esas tecnologías o sean necesarios para el funcionamiento del almacén.

### **4. Ejemplo de aplicación**

Con objeto de ilustrar el modelo de referencia propuesto, se presenta a continuación un ejemplo de aplicación a un almacén de distribución de paletas para el que se considera la existencia de tres categorías de artículos:

- La primera incluye los artículos con un perfil de inventario reducido, por lo que se ha decidido almacenarlos en estanterías convencionales.
- La segunda incluye artículos con un perfil de inventario elevado por lo que se asignan a estanterías compactas.
- La tercera categoría está formada por los artículos que sólo se compran contra pedido de los clientes, por lo que no se almacenan sino que se reexpiden en cuanto se reciben.



**Figura 2.** Ejemplo de diagrama de estado

En la Fig. 2 se muestra los estados de los materiales y sus transiciones. Las paletas se reciben mediante camiones enviados por los proveedores, por lo que están agrupadas por proveedor. Se envía directamente a expedición si procede el crossdocking, en caso contrario se colocan en el medio de almacenamiento apropiado con el criterio de ordenación establecido para cada artículo y después se recuperan las paletas para completar cada pedido, que se preparan individualmente.

En la Fig. 3 se muestra el diagrama de procesos correspondiente a la operativa de este almacén. Como se aprecia, los procesos que representan el almacenamiento no cuentan con políticas de gestión puesto que la sola espera no requiere pautas adicionales (procesos 2, 3B, 4B y 6). Los procesos iniciales de recepción y colocación en la explanada (1 y 2) así como los finales de consolidación y expedición (procesos 6 y 7) son comunes para todos los artículos. Sin embargo, los procesos intermedios son diferentes según la categoría a la que pertenece cada artículo.

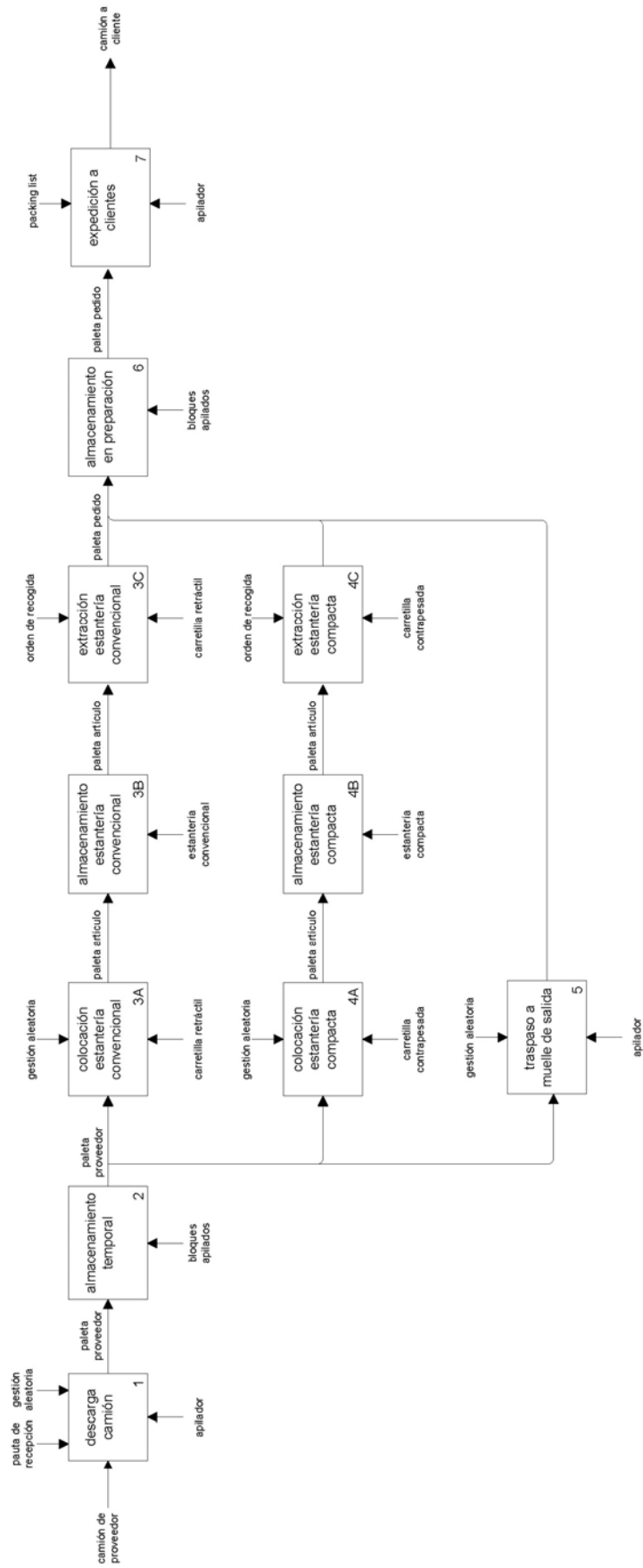


Figura 3. Ejemplo de procesos

Los procesos orientados al almacenamiento son 1, 2, 3A, 3B, 4A y 4B mientras que los procesos 3C, 4C, 6 y 7 están orientados a la preparación de pedidos a partir de los anteriores. Mencione aparte merece el proceso 5 puesto que está desencadenado por la recepción de un artículo que se compra contra pedido de los clientes y está orientado a su entrega inmediata.

Algunos procesos provocan una transformación del estado de los materiales (procesos 1, 3A, 3C, 4A, 4C, 5 y 7), mientras otros no provocan esa transformación y se limitan a cambiar la ubicación física (procesos 2, 3B, 4B y 6).

Además de la representación de las operaciones que se realizan y las tecnologías que se utilizan, uno de los aspectos más importantes de este modelado es el marco de referencia que proporciona para la estimación analítica de los medios de almacenamiento y manutención así como de los costes operativos e inversión necesaria. Para ello es con frecuencia necesario considerar parámetros y características de procesos adyacentes. Por ejemplo, para calcular la productividad del proceso 3A es necesario tener en cuenta que el proceso 2 emplea bloques apilados y en cambio el proceso 3B utiliza estanterías convencionales; el cálculo de la productividad del proceso 4A será diferente porque coloca las paletas en estanterías compactas y por ello la maniobra de colocación es más lenta. Puesto que este modelo tiene como finalidad el diseño estratégico del almacén, es decir la elección de tecnologías y políticas de gestión, puede no considerarse el tiempo de desplazamiento interno; sin embargo, el error cometido puede ser muy significativo por lo que puede utilizarse alguna aproximación basada en la superficie estimada de las áreas de origen y destino.

Por otra parte, para estimar las necesidades de estanterías convencionales (proceso 3B) es necesario conocer los perfiles de inventario de los artículos asignados a este medio, pero también la política de gestión que se aplica durante la colocación de las paletas (proceso 3A). El cálculo de los costes operativos y la inversión necesaria es inmediato a partir de los anteriores.

## **5. Conclusiones**

El modelo de referencia tecnológico propuesto utiliza herramientas como los diagramas de estado y los diagramas IDEF0 sujetos a reglas de aplicación específicas del diseño estratégico de almacenes que se detallan. Este modelo se aplica a la descripción de un almacén de distribución de paletas para el que se elige un número limitado de tecnologías aplicables con objeto de limitar el tamaño final del modelo. A pesar de ello se puede apreciar algunas de las situaciones y dificultades que aparecen en este tipo de modelado debido a que la enorme complejidad e interrelación entre las operaciones que tienen lugar en un almacén reduce las posibilidades de simplificación sin un menoscabo significativo en su capacidad de representación.

## Referencias

- Choe, K.II.; Sharp, G. (1991). Small parts order picking: design and operation. Georgia Tech, MHRC TR-89-07.
- de Koster, R.; Le-Duc, T.; Roodbergen, K.J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, vol. 182, pp. 481-501.
- Goetschalckx, M.; Bodner, D.A.; Govindaraj, T.; McGinnis, L. F.; Sharp, G.; Tian, L. (2003). Warehousing systems design. *Proceedings of EURO 2003, Istanbul (Turkey)*.
- Goetschalckx, M.; McGinnis, L.F.; Sharp, G.; Bodner, D.A.; Govindaraj, T.; Huang, K. (2001). A Framework for systematic warehousing design. *Virtual Factory Lab Research Report*, Georgia Institute of Technology, Atlanta (USA).
- Johnson, M. E.; Lofgren, T. (1994). Model Decomposition Speeds Distribution Center Design. *Interfaces*, vol. 24, no. 5, pp. 95-106.
- McGinnis, L.F. (2003). What is a warehouse? *Proceedings of INFORMS 2003, Atlanta (USA)*.
- Rouwenhorst, B.; Reuter, B.; Stockrahm, V.; van Houtum, G.J.; Mantel, R.J.; Zijm, W.H.M. (2000). Warehouse design and control: Framework and literature review. *European Journal of Operational Research*, vol. 122, no. 3, pp. 515-533.
- Yoon, C.S.; Sharp, G.P. (1996). A structured procedure for analysis and design of order pick systems., *Iie Transactions*, vol. 28, no. 5, pp. 379-389.