

Modelos de referencia para el diseño estratégico de almacenes

Manuel Cardós Carboneras, M^a Eugenia Babiloni Griñón, Gonzalo Grau Gadea, Marta E. Palmer Gato

Dpto. de Organización de Empresas, Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia.
mcardos@doe.upv.es, mabagri@doe.upv.es, ggrau@doe.upv.es, marpalga@doe.upv.es,

Resumen

Análogamente a lo que ocurre en otros ámbitos, las decisiones estratégicas que se adoptan durante el diseño de un almacén condicionan fuertemente los costes generados durante su vida útil. La selección de tecnologías de almacenamiento, tecnologías de manutención y las políticas básicas de gestión del almacén son ejemplos de decisiones estratégicas. En este artículo se consideran las aportaciones más relevantes en forma de modelos analíticos, metodologías, modelos de referencia y metaanálisis. Aunque algunas de ellas son muy notables, se aprecia grandes brechas en la investigación en ésta área por lo que se propone algunas ideas que permitan orientar futuras investigaciones.

Palabras clave: Diseño estratégico, almacenes, modelos de referencia

1. Introducción

En la actualidad uno de los aspectos de la dirección de operaciones que precisa de mayor investigación es el desarrollo de modelos y métodos para el diseño sistemático de los almacenes en su dimensión estratégica, es decir, la elección de los recursos, procesos y políticas de organizativas a partir de las cuales se realizar el diseño táctico detallado.

En el presente artículo se revisa las contribuciones más relevantes al diseño estratégico de almacenes, incluyendo los modelos analíticos (sección 2), metodologías y modelos de referencia (sección 3) y metaanálisis basados en la literatura (sección 4). En estas secciones se presentan las aportaciones por orden cronológico para apreciar mejor su evolución. Por último, en la sección 5 se resumen las principales conclusiones propuestas con objeto de orientar la investigación futura.

2. Modelos analíticos

2.1. Gray, Karmarkar y Seidmann (1992)

Gray, Karmarkar y Seidmann (1992) formulan el problema global de diseño de un almacén considerando la minimización de la inversión inicial anualizada más los costes operativos del almacén sujeto a las restricciones físicas del problema y a la satisfacción de los niveles de actividad necesarios. Puesto que se trata de un problema complejo, proponen su descomposición jerárquica en tres niveles de decisión sin fuerte acoplamiento mostrados en la Figura 1.

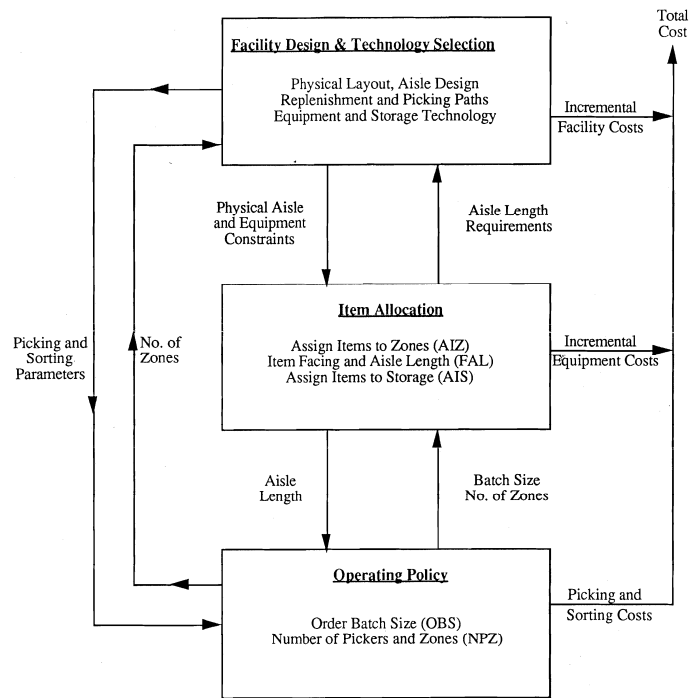


Figura 1. Descomposición jerárquica del problema (Fuente: Gray, Karmarkar y Seidmann, 1992)

2.2. Goetschalckx et al. (2001)

Goetschalckx *et al* (2001) proponen un modelo cuantitativo considerando la evolución temporal. Resulta ser un flujo de materiales capacitivo formulado así:

- La función objetivo consiste en minimizar los flujos descontados de caja (inversión inicial más los costes operativos actualizados).
- Áreas funcionales: según el modelo de referencia (ver Figura 2) y donde los componentes están sujetos a restricciones.

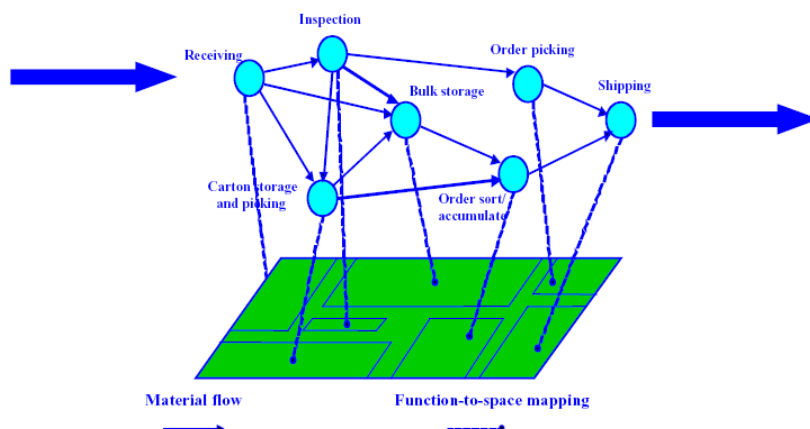


Figura 2. Ilustración del flujo en un almacén (Fuente: Goetschalckx et al., 2001)

- Flujo de productos: atraviesa el almacén y debe tener detalle suficiente para representar los departamentos principales y su flujo a lo largo del tiempo.

- Tecnologías: cada área funcional debe usar una o más tecnologías para realizar su función, cada alternativa con su coste.
- Recursos: típicamente horas hombre por categoría, horas de equipo por tipo de equipo, espacio, presupuesto de inversiones. Existe una capacidad disponible de cada recurso en cada período.
- Requisitos de capacidad: se expresan como restricciones del flujo.
- Conservación generalizada del flujo: (a) balance tradicional de flujo de entrada y salida de cada producto en un departamento para cada período temporal; (b) balance de flujo entre períodos temporales que incorpora el efecto de los inventarios; (c) balance de flujo entre productos cuando un producto se transforma en otro.

El problema así formulado es un flujo capacitivo de materiales. Es muy importante mantener el número de producto en un mínimo para limitar el tamaño global del problema. Sin embargo el mayor desafío es determinar y validar los datos necesarios para esta formulación. Proponen un algoritmo para el diseño iterativo de almacenes:

1. Resolver el modelo cuantitativo anterior (CMF). Para cada área funcional la solución determina la o las tecnologías utilizadas, el espacio necesario y el flujo de materiales con otras áreas.
2. Realizar la distribución en planta del almacén (WBL) utilizando la superficie necesaria por departamento y los flujos de materiales. Se obtiene la distancia entre los departamentos.
3. Calcular los medios de transporte necesarios entre departamento y su coste; añadirlo al coste obtenido en el paso 1 para obtener el coste global.
4. Si se desea, los parámetros de coste del problema 1 pueden actualizarse de forma que se puedan resolver CMF y WBL iterativamente hasta que ambas soluciones converjan.

3. Metodologías y modelos de referencia

3.1. Ashayeri and Goetschalckx (1988)

Ashayeri and Goetschalckx (1988) presentan el diagrama de complejidad del diseño de un almacén de picking (Figura 3).

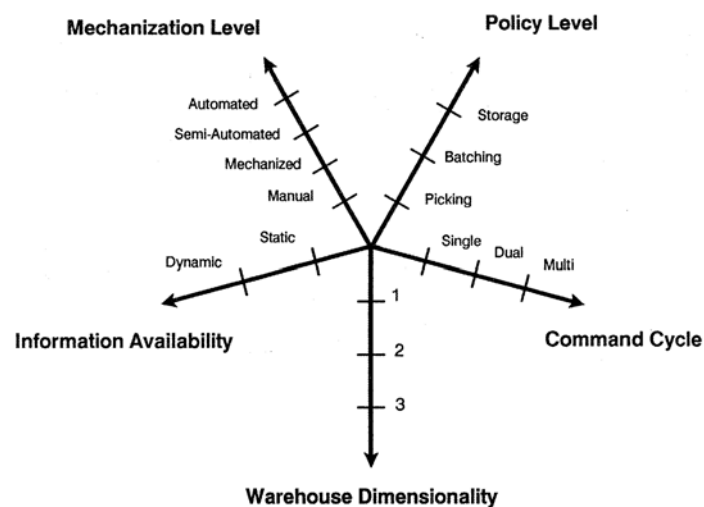


Figura 3. Diagrama de la complejidad del diseño de un almacén (Fuente: Ashayeri and Goetschalckx, 1988)

Adicionalmente, presentan una metodología para el diseño de almacenes de picking:

1. Planificación estratégica externa.
2. Clasificación de las características de los materiales.
3. Análisis de la demanda de los productos.
4. Determinación de la capacidad de almacenamiento.
5. Selección de las políticas de almacenamiento.
6. Selección del nivel de mecanización.
7. Evaluación de la distribución en planta.
8. Diseño del sistema de control de información.
9. Determinación de las políticas de agrupación y preparación.

Los pasos 5 a 9 se repiten iterativamente aumentando el detalle en cada iteración. Puede desarrollarse diferentes soluciones que deben compararse respecto a su producción, necesidades de almacenamiento, inversión y costes operativos.

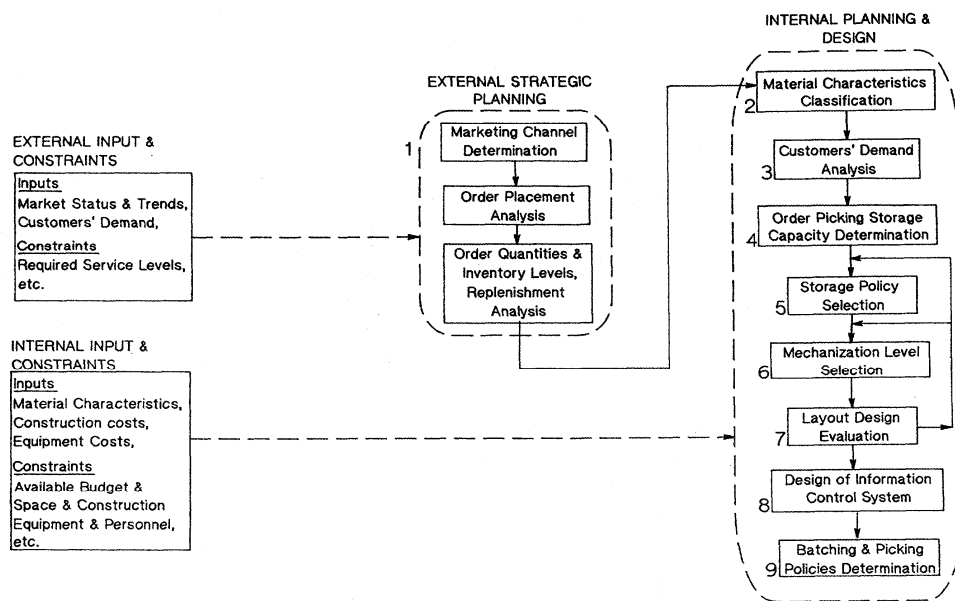


Figura 4. Planificación y diseño sistemáticos de sistemas de preparación de pedidos (Fuente: Ashayeri and Goetschalckx, 1988)

3.2. Yoon y Sharp (1995)

Yoon y Sharp (1995) presentan un ejemplo de cálculo completo y detallado de un almacén de picking utilizando el modelo de referencia y la metodología expuestas en la Figura 5.

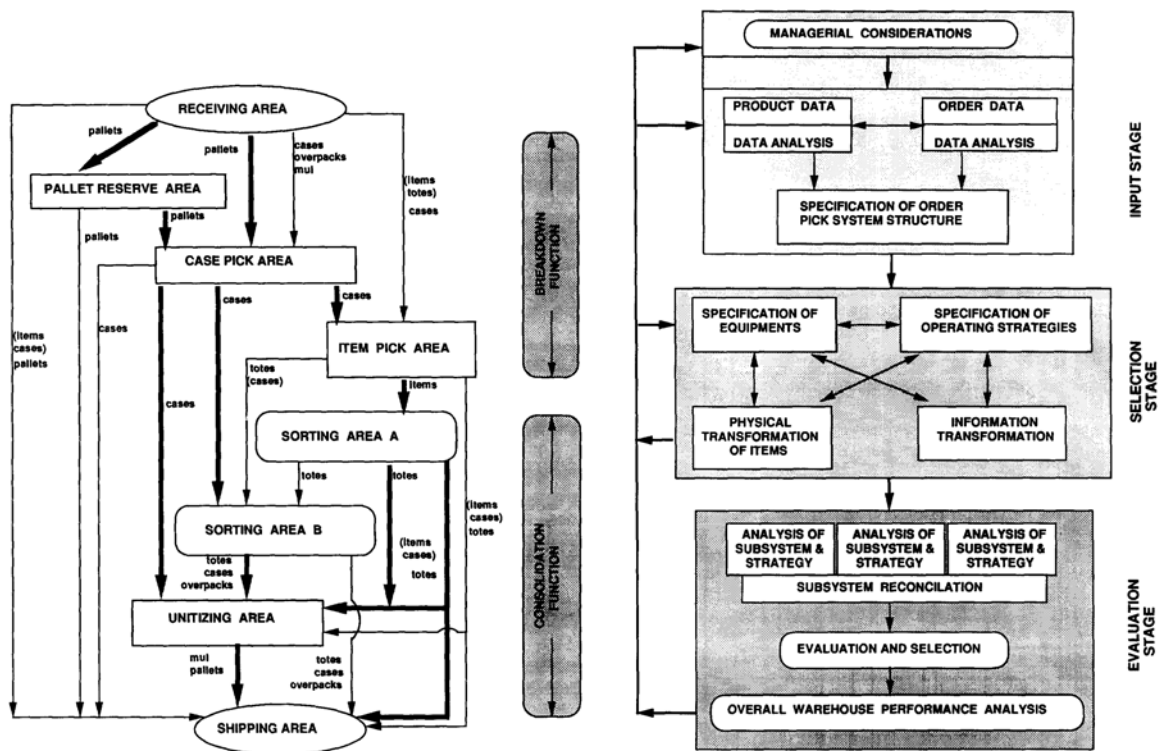


Figura 5. Estructura general y procedimiento para el diseño conceptual de un sistema de preparación de pedidos (Fuente: Yoon y Sharp (1995))

3.3. McGinnis (2003)

McGinnis (2003) desarrolla ideas sobre cómo crear un modelo de referencia: (a) buscar un conjunto razonablemente pequeño de principios organizativos; (b) proponer los elementos del modelo de referencia; (c) comprobar la consistencia del modelo; (d) refinar el modelo resultante.

Los modelos de referencia son artefactos, no fenómenos naturales. Incluyen elementos como:

- Modelos de distribución en planta.
- Modelos de flujo.
- Modelos de picking.
- Modelos de clasificación.
- Modelos de almacenamiento.

Propone las siguientes líneas de trabajo:

- 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 o menos detalladas.

- Predicciones: 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. Hace falta un rango más amplio de modelos de subsistemas.
- Control: hay un importante desafío en racionalizar la investigación con la práctica de gestión de almacenes. 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. Un enfoque del diseño riguroso y basado en la teoría se dirigirá simultáneamente tanto a los recursos físicos como a la toma de decisiones.

Concluye afirmando que si queremos que nuestra investigación tenga impacto en la práctica, debe crearse la infraestructura intelectual necesaria para que ocurra dicho impacto. Un modelo de referencia unificado es un requisito fundamental para esa infraestructura.

4. Metaanálisis basados en la literatura

4.1. Cormier y Gunn (1992)

Cormier y Gunn (1992) revisan los artículos clásicos sobre modelos de productividad, de capacidad de almacenamiento y de diseño de almacenes. Los autores concluyen respecto a las decisiones que tienen lugar en los almacenes.

La capacidad de almacenamiento y el diseño del almacén son decisiones estratégicas porque tienen un impacto significativo en la rentabilidad a largo plazo. Como estas decisiones no suceden con frecuencia, se justifica el uso de modelos matemáticos complejos y modelos de simulación incluso si exigen un costoso cálculo.

Las decisiones tácticas deben ser revisadas cuando cambian las condiciones operativas. Por ejemplo, la asignación de productos a ubicaciones debe reflejar cualquier cambio en la composición de los productos.

Las decisiones operativas comprenden las políticas de picking y lotificación, entre otras. Como estos problemas combinatorios tienden a resolverse repetidamente en situaciones prácticas, las heurísticas deben ser rápidas y proporcionar buenas soluciones.

4.2. Gelders (1992)

Gelders (1992) señala que históricamente los problemas de distribución física no han recibido el mismo escrutinio científico que el sector de producción. En consecuencia la gestión de la distribución física ha evolucionado hacia convertirse en un arte, cuando de hecho las técnicas y metodologías científicas utilizadas en producción podrían y deben ser también aplicadas a

los problemas de almacenamiento y distribución. Es de poca utilidad hacer que las factorías sean altamente flexibles si esta flexibilidad no se extiende a lo largo de toda la cadena logística desde el suministro hasta la entrega.

4.3. Rouwenhorst *et al* (2000)

Rouwenhorst *et al* (2000) desarrollan un modelo de referencia para el diseño de almacenes y para revisar la literatura referida a la estructura interna de un almacén y sus operaciones. No consideran otros aspectos como la justificación económica de los almacenes, el problema de la localización de almacenes, la logística externa, la gestión de recursos humanos o de la calidad. Encuentran que la práctica totalidad de los documentos analizados se centran 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.

El proceso de diseño habitualmente atraviesa fases consecutivas: concepto, adquisición de datos, especificaciones funcionales, especificaciones técnicas, selección de los medios y equipos, distribución en planta, selección de políticas de planificación y control. Las fases conceptual y de adquisición de datos no se tratan en el artículo.

Se adopta decisiones frecuentemente interrelacionadas en niveles estratégicos, tácticos y operativos. El marco jerárquico anterior refleja el horizonte de las decisiones (corto, medio o largo plazo) de forma que las soluciones elegidas para el nivel mayor proporcionan restricciones para los niveles inferiores.

El método ideal de diseño agrupa subproblemas relacionados del mismo nivel y proporciona una solución mediante su optimización simultánea con objeto de alcanzar un óptimo global. Es importante reconocer las relaciones entre subproblemas para evitar soluciones subóptimas.

Criterios habitualmente utilizados para la evaluación de los diseños incluyen inversión, costes operativos, flexibilidad en volumen y composición de las órdenes, producción, capacidad de almacenamiento, tiempo de respuesta y exactitud en la preparación de pedidos. Los almacenes de distribución suelen centrarse en la producción, inversión y costes operativos, mientras que los almacenes de producción suelen favorecer la capacidad de almacenamiento, la inversión y los costes operativos. Con frecuencia la inversión y los costes operativos se combinan en el VAN o en el TIR.

Los problemas de diseño se presentan en los niveles estratégico, táctico y operativo. 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 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.

Algunas observaciones respecto a la relación entre algunas decisiones:

- La inversión está determinada básicamente por el tipo y número de los recursos.
- La capacidad de almacenamiento está determinada principalmente por el tipo y dimensiones del sistema de almacenamiento. Tienen menor importancia la política de almacenamiento (aleatoria, fija, por clases).
- La máxima producción está determinada parcialmente por el tipo y dimensiones de los recursos. Un gran número de otros factores también pueden influir, como por ejemplo la decisión de separar la reserva, la política de almacenamiento, la política de lotificación, la política de rutas y las políticas de asignación de personal, equipos y muelles.
- El tiempo de respuesta está parcialmente determinado por los factores relacionados con la máxima producción. Sin embargo, también está influenciada por otras decisiones organizativas (políticas de zonificación, clasificación y punto de espera).

Estas observaciones subrayan la 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.

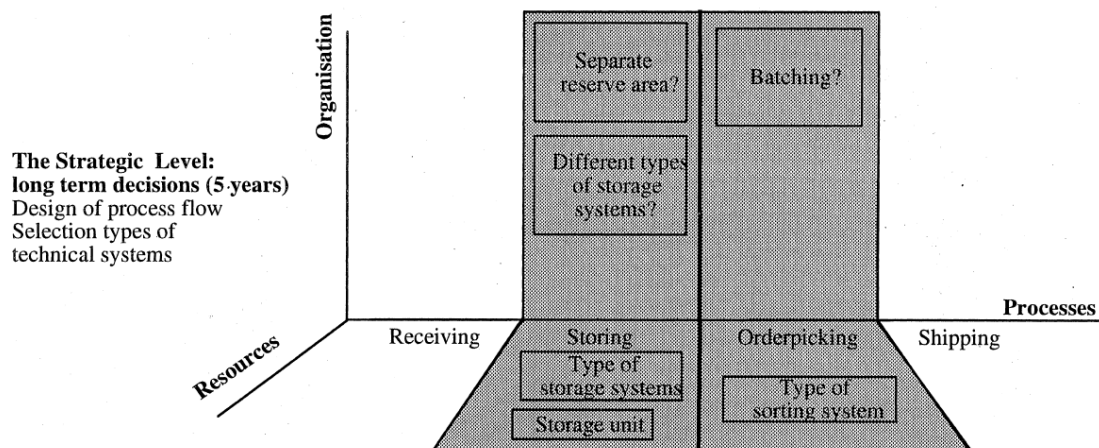


Fig. 1. The strategic level.

Figura 6. Decisiones del nivel estratégico (Fuente: Rouwenhorst et al., 2000)

Después de analizar las contribuciones más relevantes al diseño estratégico, concluyen que es muy reducido su número de publicaciones 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.

La falta de documentos orientados al diseño contrasta con la necesidad de modelos y técnicas integrados. Comparan la investigación orientada al análisis con la investigación orientada al diseño como se recoge en la Tabla 1.

Tabla 1. Comparación entre la investigación orientada al análisis y la investigación orientada al diseño

Investigación orientada al análisis	Investigación orientada al diseño
La función objetivo puede expresarse analíticamente o puede ser cuantificada.	La función objetivo es compleja, consiste en múltiples objetivos y es parcialmente cualitativa (p.ej. la flexibilidad es difícil cuantificar).
Se conoce completamente el conjunto de alternativas disponible.	Elevado número de alternativas puesto que existen muchas alternativas a los sistemas físicos y políticas organizativas que pueden combinarse de múltiples formas. A menudo es imposible la enumeración completa de todos los diseños factibles para encontrar la solución óptima.
La probabilidad de sucesos inciertos es conocida y los efectos pueden ser cuantificados.	El comportamiento estocástico (ej. la avería de equipos o el fallo humano) es difícil de cuantificar.
La interacción con el entorno es despreciable o fácilmente modelable.	La evaluación de un diseño completo puede como mucho ser parcial, puesto que es difícil de predecir la demanda futura de capacidad de almacenamiento así como los futuros tipos de productos que deberán almacenarse.
	No se puede aislar el diseño de subsistemas o políticas debido a la interacción con otros subsistemas o políticas, como se vio anteriormente.

En definitiva, abogan por la investigación orientada al diseño y proponen algunas conclusiones:

- Uso de un modelo de referencia para situar los problemas de diseño en una perspectiva general. La caracterización de los almacenes (procesos, recursos, organización) y la clasificación de los problemas (estratégicos, tácticos, operativos) pueden proporcionar la base para dicho modelo de referencia.
- Es indispensable un inventario de sistemas de almacenamiento, equipos y técnicas como base para comparar alternativas (ver Tompkins *et al*, 1996). En particular, debe investigarse la adecuación de los sistemas para combinaciones particulares de productos y mercados (lento o rápido movimiento, picking de unidades o de cajas).
- Es necesario desarrollar modelos de costes más adecuados al nivel estratégico. También merece más atención la traducción de las especificaciones funcionales a técnicas.
- Debe potenciarse los estudios sobre la integración de varios sistemas y que se concentren en los problemas de interfase entre ellos.

En resumen, enfatizan la necesidad de investigación orientada a la síntesis de los modelos y técnicas aislados disponibles actualmente, como base para el apoyo a las decisiones en el diseño de un sistema de almacenamiento completo. Tal investigación rellenaría una importante brecha entre la literatura científica y la práctica del diseño y gestión de almacenes.

5. Conclusiones

Es notable la falta de contribuciones al diseño estratégico de almacenes, por lo que en la práctica se sitúa a mitad de camino entre la ciencia, la creatividad y la experiencia de los diseñadores. Probablemente el enfoque más viable para superar esta situación requiere desarrollar una metodología integrada de diseño que recoja los resultados científicos disponibles con el propósito de apoyar la creatividad y experiencia de los diseñadores. En la medida en que dicha metodología mejore su capacidad de representación y la fiabilidad de sus predicciones de rendimiento, mejores resultados finales se obtendrán recurriendo cada vez menos a la experiencia de los diseñadores.

Sin embargo, sería un error considerar que dicha experiencia debe ser eliminada del diseño estratégico. Si los avances futuros en las metodologías de diseño logran que la experiencia de los diseñadores determine la calidad del diseño final, siempre será un factor importante para la innovación tanto en tecnologías aplicables a los almacenes como en nuevas aplicaciones de las mismas.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto MyHDEA financiado por la Conselleria d'Empresa, Universitat i Ciència de la Generalitat Valenciana (Ref. GV/2007/224).

Referencias

- Ashayeri, J. & Goetschalckx, M. (1988). "Analysis and design of order picking systems", *Proceedings of the International Conference on Automation in Warehousing*, pp. 125-135.
- Cormier, G. & Gunn, E.A. (1992). "A Review of Warehouse Models". *European Journal of Operational Research*, 58(1):3-13.
- Gelders, L.F. (1992). "Warehouse Design and Operation". *European Journal of Operational Research*, 58(1):1-2.
- McGinnis, L. F. (2003). "What is a warehouse?". In *INFORMS 2003*.
- Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., van Houtum, G. J., Mantel, R. J., & Zijm, W. H. M. (2000). "Warehouse design and control: Framework and literature review". *European Journal of Operational Research*, 122(3):515-533.
- Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y.A., Frazelle, E.H., Tanchoco, J.M.A., & Trevin, J. (1996). *Facilities planning*. Wiley, New York.
- Yoon, C.S. & Sharp, G.P. (1995). "Example application of the cognitive design procedure for an order pick system: Case study". *European Journal of Operational Research*, 87(2):223-246.