

# Herramienta para asistir el proceso de diseño de almacenes: desarrollo y validación.

*Tool for aiding warehouse design process: development and validation.*

---

*Claudia Chackelson<sup>1</sup>, Javier Santos<sup>2</sup>, Ander Errasti<sup>3</sup>*

Recibido: Mayo 2013

Aprobado: Agosto 2013

---

**Resumen.-** El diseño de almacenes es una tarea altamente compleja, debido tanto al gran número de alternativas como a la fuerte interacción de los factores involucrados. A pesar de haber disponibles metodologías de diseño de almacenes y herramientas soporte, el proceso que lleva a la identificación de una solución específica de diseño no se explica de forma clara en la bibliografía. Este artículo describe el proceso de desarrollo, mejora y validación de una nueva herramienta que apunta a contribuir a suplir esta carencia permitiendo visualizar y seleccionar alternativas de diseño adecuadas. Se ha recurrido al método Delphi para, en base a los comentarios y sugerencias de los expertos involucrados, garantizar la aplicabilidad práctica de la herramienta propuesta. Adicionalmente, soluciones de diseño de alto rendimiento fueron recopiladas con el fin de proporcionar una guía durante el proceso de diseño de almacenes.

**Palabras clave:** diseño de almacenes; herramienta de configuración, método Delphi

**Summary.** - *Warehouse design is a highly complex task, due to both the large number of alternative designs and the strong interaction between all the factors involved. Although some design methodologies and tools have been proposed, the process leading to the identification of the specific design solutions is not clear in literature. This paper addressed the steps followed for developing, improving and validating a new tool that contributes to bridging that gap by supporting visualization and selection of design alternatives. Delphi method has been used, and experts' suggestions and comments have been taken into account in order to guarantee the practical applicability of the proposed tool. Also, high-performance design solutions have been gathered to be used as a guideline during warehouse design process.*

**Keywords:** *warehouse design; configuration too; Delphi method*

**1. Introducción.-** La demanda de los clientes está aumentando su complejidad de forma constante en los últimos años, debido a que los mismos exigen: (a) una reducción de los tiempos de respuesta, (b) un aumento de gama de productos, (c) un aumento de la personalización o customización y (d) un aumento de la complejidad de los pedidos debido a una reducción en la cantidad y a un aumento en el número de líneas [1, 2]. En este contexto, los almacenes pueden aportar importantes ventajas en la gestión eficiente de la Cadena de Suministro [3, 4], ya que éstos:

- Posibilitan economías de escala en el transporte de mercancías.
- Posibilitan economías de escala en la producción.
- Permiten la compra especulativa.
- Soportan las políticas de nivel de servicio de las empresas.
- Amortiguan las condiciones cambiantes del mercado y su incertidumbre.

---

<sup>1</sup> Ingeniera Industrial por la Universidad de Montevideo. Doctora por el Departamento de Organización Industrial de Tecnun, Universidad de Navarra. cchackelson@tecnun.es

<sup>2</sup> Doctor por el Departamento de Organización Industrial de Tecnun, Universidad de Navarra. jsantos@tecnun.es

<sup>3</sup> Doctor por el Departamento de Organización Industrial de Tecnun, Universidad de Navarra. aerrasti@tecnun.es

- Suministran un mix de productos a partir de una amplia gama de referencias.
- Proporcionan un punto de almacenamiento temporal para una posterior reexpedición.

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. 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 [4].

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 [5]. No obstante, el proceso que finaliza con la identificación de una solución específica sigue siendo confuso [6]. Hasta el momento, no se ha llegado a un consenso en relación a las herramientas necesarias para llevar adelante el diseño. 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 [7]. Seleccionar una de las múltiples soluciones posibles resulta complicado, y por lo tanto, un procedimiento que ayude a reducir el universo de soluciones de diseño adecuadas es necesario con el fin de guiar el proceso de diseño.

Tomando en consideración lo previamente expuesto, este artículo propone una nueva herramienta útil durante el diseño, permitiendo la visualización y selección de diferentes alternativas. La Sección 2 sintetiza el estado del arte donde las principales decisiones relacionadas al diseño de almacenes y los conceptos vinculados a la complejidad del proceso son expuestos, así como también el programa de investigación seleccionado para llevar a cabo este trabajo. La Sección 3 presenta la primera versión de la nueva herramienta desarrollada y la Sección 4 detalla la mejora de la misma mediante la implementación del método Delphi. Finalmente, la Sección 5 explica la aplicabilidad práctica de la herramienta presentada y la Sección 6 incluye las principales conclusiones y futuras investigaciones.

**2. Estado del arte y programa de investigación.-** 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, junto con el diseño del flujo de materiales u operativas a ser implementadas [8]. Estas decisiones incluyen:

- Preparar los posibles layouts (zonas del almacén).
- Considerar los posibles equipos y características.
  - Nivel de automatización.
  - Sistema de almacenaje.
  - Equipos de manutención.
- Determinar operativas.
  - Recepción.
  - Ubicación.
  - Almacenaje.
  - Preparación de pedidos (*Picking*).
  - Expedición.

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. La *Ubicación* incluye el traslado interno, la localización de la ubicación, la verificación y el posicionamiento del producto. El *Almacenaje* implica contener los productos mientras estos esperan a ser demandados por los clientes. El *Picking* es el proceso de extraer productos de la zona de almacenaje en respuesta a un pedido específico de un cliente. 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. Finalmente, la *Expedición* incluye la comprobación de las órdenes de carga (completas y empaquetadas en las unidades de envío correctas), 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 [5].

Según Rouwenhorst et al. [8], la bibliografía aporta herramientas útiles para algunos pasos del diseño de almacenes, pero éstas tienden a concentrarse en un número reducido de áreas, entre la totalidad de problemas de diseño existentes. En la práctica, los diseñadores utilizan una gran variedad de herramientas durante el proceso de diseño. Baker y Canessa [4] recopilaron las herramientas utilizadas y concluyeron que las empleadas con mayor frecuencia son:

- Bases de datos y hojas de cálculo para analizar la información.
- CAD para preparar posibles Layouts y zonas.
- Hojas de cálculo para considerar diferentes equipos.
- Software de simulación y hojas de cálculo para seleccionar operativas.
- 

Para facilitar que la selección de las alternativas de diseño se adapte a las exigencias de cada almacén en particular y descubrir oportunidades de mejora, es necesario conocer la complejidad de los procesos con flujo de material del almacén, la cual se calcula mediante el Perfil de Actividades del Almacén o *Warehouse Activity Profiling* propuesto por Frazelle [9]. En su libro *World-Class Warehousing and Material Handling*, Frazelle enumera los siguientes puntos a medir para conocer la complejidad:

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

Una vez estudiadas las principales decisiones relacionadas al diseño de almacenes y los conceptos vinculados a la complejidad del proceso, se definió un programa de investigación que permitiera el desarrollo, la mejora y la validación de una nueva herramienta para análisis y visualización de alternativas de diseño. En la primera fase, o fase de desarrollo, se llevó a cabo una extensa revisión bibliográfica para identificar los factores y las alternativas de diseño para los procesos de flujo de materiales (recepción, ubicación, almacenaje, preparación de pedidos y expedición) y construir una primera versión de la herramienta. Luego, en una segunda fase de mejora y validación, se seleccionó el estudio Delphi como método idóneo para llevar a cabo una consulta con expertos en diseño de almacenes y llegar a una versión de la herramienta respaldada por profesionales con amplia experiencia. Finalmente, para poder aplicar en la práctica la herramienta desarrollada, se utilizó la misma para recopilar modelos de referencia aportados por los expertos participantes del Delphi. A continuación se describen en detalle cada una de estas fases del programa de investigación y se presentan los resultados obtenidos a partir de las mismas.

**3. Fase de desarrollo.-** 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 identificados en una revisión bibliográfica. 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 [5, 10]. En el mismo se presentan las alternativas de diseño del proceso de preparación en una estrella, en la que cada rama representa una

característica del sistema o forma organizativa para realizar este proceso. La nueva herramienta de análisis y visualización creada para asistir la toma de decisiones durante el proceso de diseño extiende este esquema e incluye las alternativas de diseño para los cinco procesos de flujo de material, incorporando a su vez las formas organizativas y tecnológicas empleadas hoy en día. La principal ventaja es la posibilidad de visualizar simultáneamente diferentes alternativas, facilitando la selección de soluciones de diseño.

La primera versión de la herramienta, creada en base a una revisión bibliográfica, fue denominada *Configurador de Alternativas de Diseño*. La misma está compuesta por cinco diagramas en forma de estrella, uno por cada proceso de flujo de material (recepción, ubicación, almacenaje, preparación de pedidos y expedición). Dichas estrellas están conformadas por ramas que representan conjuntos de alternativas de diseño (ej. Nivel de automatización del sistema de almacenamiento). Todas las ramas están representadas en base a un código de colores donde, se distinguen las decisiones comunes que deben tomarse para más de un proceso. Se contemplan las decisiones conjuntas para la ubicación, el almacenaje y la preparación y por otra parte las decisiones conjuntas para la recepción y la expedición. Las decisiones compartidas también se muestran en aquellas ramas que unen dos procesos. Finalmente se diferencian aquellas alternativas relacionadas con operativas y formas organizativas, de aquellas decisiones relativas al nivel tecnológico o las características del sistema. Cabe destacar que todas las alternativas incluidas se consideran de gran importancia luego de analizar los trabajos presentados en más de 70 artículos científicos y libros de autores de referencia entre los que se destacan: Rouwenhorst et al. [8], Goetschalckx et al. [11], Gu et al. [12], Baker y Canessa [4], Rushton et al. [1], Tompkins et al. [13] y Gu et al. [14].

Dado que el objetivo del *Configurador de Alternativas de Diseño* es ser una guía práctica para el diseñador del almacén, un proceso de mejora y validación con expertos del ámbito empresarial fue necesario. Este trabajo expone directamente la versión final de esta herramienta obtenida después de dicho proceso (Figura I).

**4. Fase de mejora y validación.-** Debido al enfoque práctico con el que fue definido el *Configurador de Alternativas de Diseño*, el método Delphi resultó la técnica idónea para lograr mejorar y validar lo desarrollado hasta al momento. El punto más crítico del 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 crítico de un grupo selecto de diseñadores de almacenes con muchos años de trayectoria, siguiendo los criterios para considerar a una persona experta en un tema propuestos por Adler y Ziglio [15]: (a) conocimiento y experiencia en el tema estudiado, (b) capacidad y voluntad de participar, (c) tiempo suficiente para dedicar al estudio, y (d) habilidades de comunicación. En base a este criterio, se consideró que una persona que había liderado procesos de diseño de almacenes desde empresas de consultoría, ingenierías logísticas o empresas de manutención, o que hubiese puesto en marcha operaciones logísticas de alta complejidad, estaba cualificada para participar en el proceso de validación de la herramienta.

Un grupo de 10 expertos se involucró de forma activa en el proceso, teniendo en cuenta que un grupo de entre 10 y 15 integrantes es adecuado para componer el panel [16]. Con estos expertos se completaron dos rondas de cuestionarios, lográndose la aceptación general al finalizar el proceso. Las preguntas fueron creadas con el fin de recoger las opiniones y comentarios de los expertos en cuanto a la utilidad de la herramienta, a su facilidad de uso, y a la adecuación de los conceptos incluidos (ver cuestionario en el anexo). La gran ventaja del método 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 pudiese ser interpretada correctamente por el resto del grupo.

Gracias al método Delphi se comprobó que el *Configurador de Alternativas de Diseño* es útil para la visualización de las múltiples alternativas de diseño existentes, siendo una herramienta clara, concisa y completa. A partir de los comentarios enviados por los expertos, fue posible mejorar la versión inicial en los aspectos detallados a continuación:

- Se agregaron nuevos grupos de alternativas de diseño (nuevas ramas en varios de los diagramas con forma de estrellas). Por ejemplo, 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).
- Se separaron o combinaron ramas de estrellas ya existentes para simplificar la visualización. Por ejemplo, se separó el concepto “Agrupación de órdenes y clasificación” del concepto “Ciclos combinados”, para contemplar la posibilidad de realizar la preparación: Por pedido, Por zona y Por artículo, y por otra parte para hacer referencia únicamente al aprovechamiento de los viajes en vacío de los procesos de Ubicación y Preparación.
- Se agregaron alternativas de diseño punteras en ramas ya existentes. Por ejemplo, en la rama “Gestión de datos de pedidos” se incluyó la Pre-recepción de pedidos (albarán electrónico mediante EDI o intercambio electrónico de datos).
- Se cambiaron los nombres de algunos términos para evitar confusiones conceptuales. Por ejemplo, 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.
- Se ordenaron las alternativas de diseño, colocándose las más simples cerca del centro de las estrellas y las más complejas en la periferia.

Con respecto al último punto, cabe destacar que las alternativas de diseño se colocaron siguiendo este orden basado en la complejidad de las alternativas para facilitar la lectura de la herramienta. Sin embargo, una alternativa de diseño más compleja no es mejor que otra más simple. Es necesario que la solución de diseño a implementarse se adapte a las características del almacén que se está diseñando (ver Perfil de Actividades del Almacén o *Warehouse Activity Profiling* propuesto por Frazelle [9]), y para ello se completó la última fase del programa de investigación detallada en el apartado Aplicabilidad práctica del *Configurador de Alternativas de Diseño*. Luego del proceso de mejora y validación, el *Configurador de Alternativas de Diseño* final es el que se muestra en la Figura I.

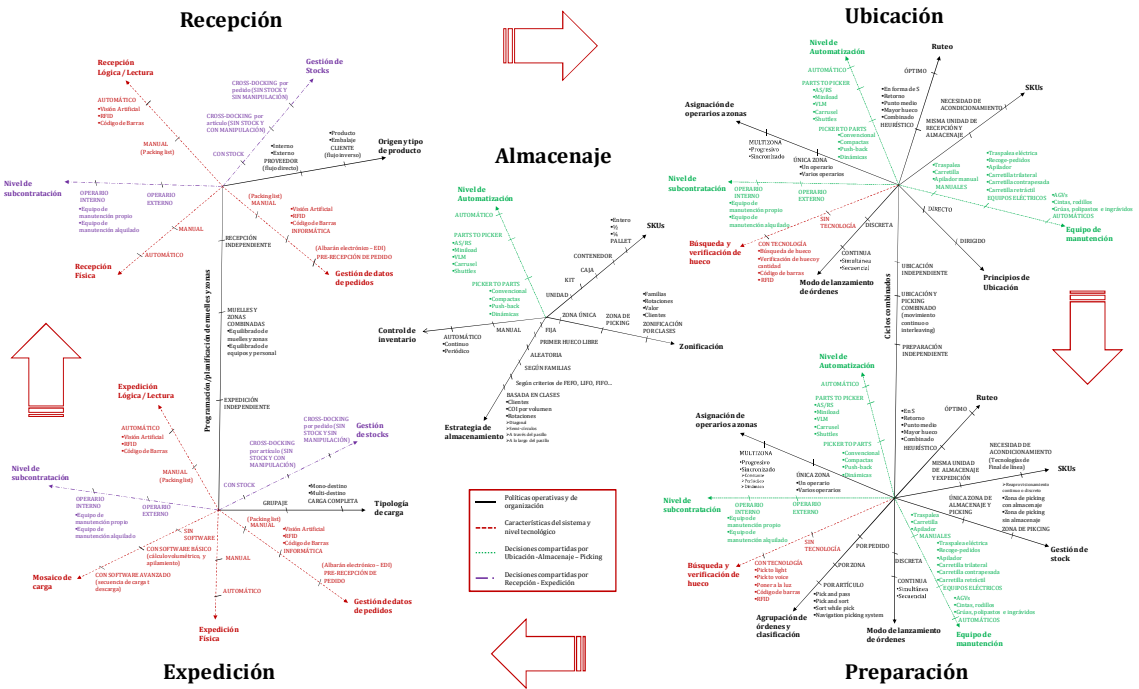


Figura I.- Configurador de Alternativas de Diseño

**5. Aplicabilidad práctica del Configurador de Alternativas de Diseño.-** Hasta el momento, el *Configurador de Alternativas de Diseño* es una buena herramienta para la visualización de alternativas de diseño y para identificar decisiones que involucran a varios procesos de flujo de materiales. Adicionalmente es útil para mapear la solución de diseño implementada en un almacén (sistema *AS IS*), ayudando a revelar oportunidades de mejora. Sin embargo, el principal objetivo de esta herramienta es proporcionar una guía práctica para el diseñador, permitiendo por tanto mapear futuras soluciones de diseño (sistema *TO BE*).

Para facilitar la utilización de estos sistemas *TO BE*, se ha empleado el *Warehouse Activity Profiling* propuesto por Frazelle para clasificarlos de acuerdo a su nivel de complejidad. Para ello, el perfil de las referencias y el perfil de actividades ayudan a preparar los posibles layouts, 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. 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 y el perfil de inventario influyen en la decisión de los equipos y sus características y en la selección de operativas. Los cuatro factores que componen ambos perfiles son divididos en tres categorías cada uno, generando 81 ( $3^4$ ) niveles de complejidad, resumidos en la Tabla I.

Líneas por orden.	Cantidad por orden.	Unidades de almacenaje (SKUs)	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

Tabla I.- Niveles de complejidad

A partir de la mencionada clasificación de almacenes en base a su nivel de complejidad, se elaboró una guía práctica compuesta por mejores prácticas o modelos de referencia en lo que respecta al diseño de almacenes. Para ello, algunos expertos colaboraron con la recolección de estos modelos de referencia, proporcionando datos de soluciones de diseño que ellos mismos habían ideado o visto, y que desde su criterio personal, podrían considerarse excelentes debido a que posibilitaban una respuesta satisfactoria al nivel de complejidad medido en el almacén donde habían sido implementadas, brindando altos niveles de productividad y calidad. Finalmente los expertos aportaron modelos de referencia para diversos niveles de complejidad, y para sectores muy variados como: electrodomésticos, gran consumo, bienes industriales, elevación y movilidad, repuestos de maquinarias, componentes electrónicos y parafarmacia. Estas soluciones excelentes fueron recopiladas en el *Configurador de Alternativas de Diseño* uniendo las alternativas de diseño implementadas en cada rama, para las cinco estrellas. Adicionalmente, los niveles de productividad y calidad, en términos de líneas a la hora y % de pedidos perfectos respectivamente, fueron documentados para cada una de estas soluciones.

La Figura II proporciona un ejemplo de las soluciones de diseño recolectadas, mostrando el nivel de complejidad del almacén, así como también la productividad y la calidad obtenidas.

Nivel de complejidad	Líneas por orden: 100-1000 (2) Cantidad por orden: Menos de 10 (1) Unidades de almacenaje (SKUs): Cajas (2) Referencias almacenadas: Más de 1000 (3)
Solución de diseño	
Rendimiento	Calidad: más del 99% de pedidos perfectos Productividad: 600 líneas preparadas a la hora.

Figura II.- Ejemplo de solución de diseño de alto rendimiento, proporcionada por uno de los expertos participantes en el Delphi

**6. Conclusiones y futuras investigaciones.-** Se ha desarrollado, mejorado y validado 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). Dicha herramienta de análisis y visualización, denominada *Configurador de Alternativas de Diseño*, ha sido creada para

asistir la toma de decisiones durante el proceso de diseño. La primera versión del *Configurador de Alternativas de Diseño*, desarrollada en base a la bibliografía, ha sido mejorada y validada por un grupo de 10 expertos en el tema que participaron en un Delphi. 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, se han recopilado diseños de almacenes excelentes, utilizando el *Configurador de Alternativas de Diseño* para la representación gráfica de estos modelos de referencia. El resultado es enriquecer la experiencia particular de cada diseñador con la experiencia de expertos en el ámbito del diseño de almacenes.

Como futuras investigaciones se plantea continuar recogiendo modelos de referencia, ya que hasta el momento el recopilatorio no cuenta con soluciones para los 81 niveles de complejidad identificados. Adicionalmente, se irá actualizando el *Configurador de Alternativas de Diseño* con nuevas tecnologías, sistemas de almacenaje, equipos de mantenimiento y operativas que se vayan desarrollando y que proporcionen niveles de productividad y calidad excelentes. De esta forma, no sólo se completará la guía práctica para el diseñador utilizando la herramienta de visualización y selección de alternativas de diseño propuesta en este trabajo, sino que también se evitará que esta última quede obsoleta con el paso del tiempo.

## 7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (DPI2011-26653).

## 8. Referencias

- [1] Rushton A, Croucher P, Baker P. The handbook of logistics & distribution management. 4th ed. Kogan Page; 2010.
- [2] Errasti A, Chackelson C, Jaca C. Mejora en el rendimiento de un centro de distribución a través del rediseño del sistema de preparación de pedidos: Estudio de caso. 4th International conference on industrial engineering and industrial management; 2010.
- [3] Lambert DM, Stock JR, Ellram LM. Fundamentals of logistics management. Irwin/McGraw-Hill Chicago, IL.; 1998.
- [4] Baker P, Canessa M. Warehouse design: A structured approach. Eur J Oper Res. 2009;193(2):425-36.
- [5] De Koster R, Le-Duc T, Roodbergen K. Design and control of warehouse order picking: A literature review. European Journal of Operational Research. 2007;182:481-501.
- [6] Dallari F, Marchet G, Melacini M. Design of order picking system. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2009;42(1):1-12.
- [7] Gu J, Goetschalckx M, McGinnis LF. Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review. Eur J Oper Res. 2010 JUN 16 2010;203(3):539-49.
- [8] Rouwenhorst B, Reuter B, Stockrahm V, Van-Houtum GJ, Mantel RJ. Warehouse design and control: Framework and literature review. European Journal of Operational Research. 2000;122:515-33.
- [9] Frazelle E. World-class warehousing and material handling. McGraw-Hill Professional; 2002.
- [10] Goetschalckx M, Ashayeri J. Classification and design of order picking. Logistics Information Management. 1989;2(2):99-106.



- [11] Goetschalckx M, McGinnis L, Sharp G, Bodner D, Govindaraj T, Huang K. Development of a design methodology for warehousing systems: Hierarchical framework. Proceedings of the Industrial Engineering Research, Orlando, FL, USA. 2001.
- [12] Gu J, Goetschalckx M, McGinnis LF. Research on warehouse operation: A comprehensive review. *Eur J Oper Res.* 2007 FEB 16 2007;177(1):1-21.
- [13] Tompkins JA, White JA, Bozer YA, Tanchoco JMA. *Facilities planning.* Wiley; 2010.
- [14] Gu J, Goetschalckx M, McGinnis LF. Solving the forward-reserve allocation problem in warehouse order picking systems. *J Oper Res Soc.* 2010 JUN 2010;61(6):1013-21.
- [15] Adler M, Ziglio E. *Gazing into the oracle: The delphi method and its application to social policy and public health.* London: Jessica Kingsley Pub; 1996.
- [16] Okoli C, Pawlowski SD. The delphi method as a research tool: An example, design considerations and applications. *Information & Management.* 2004;42(1):15-29.

**Anexo**

**Introducción al primer cuestionario del estudio Delphi:**

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. Por lo tanto, 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:

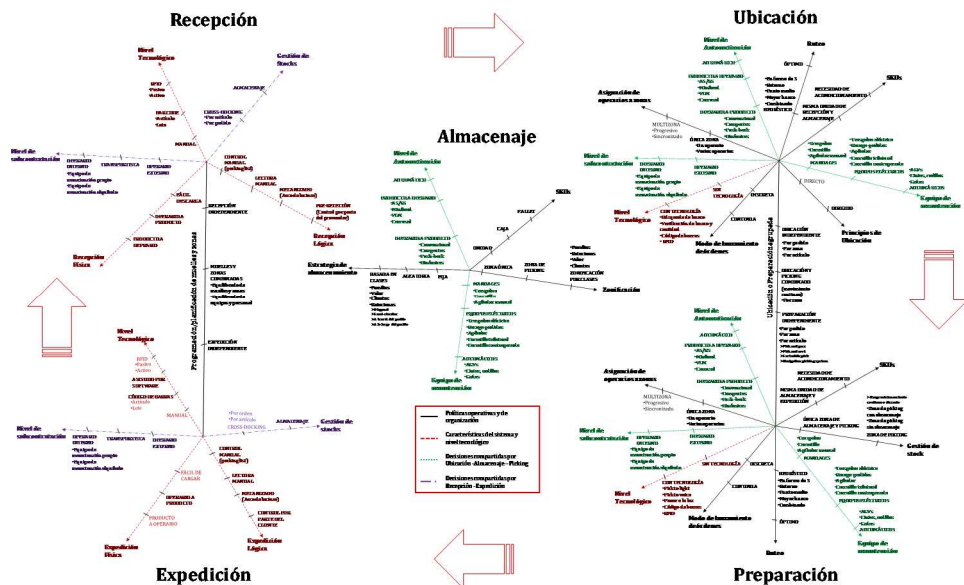


Figura III Diagrama de estrellas general: los cinco procesos de flujo de material

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.

### 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 participantes. 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.

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 en 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.

## 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 mantenimiento 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: