

Criterios para la planeación de centros de distribución. Revisión bibliométrica

Criteria for distribution center planning. A bibliometric review

Recibido: 12-11-2021 • Aprobado: 05-05-2022 • Página inicial: 123 • Página final: 145

Doi: 10.53995/23463279.1167

Gonzalo Emilio León Rincón*
Mariana Restrepo Beltrán**

Resumen: Este artículo documenta los principales criterios que se han incluido para la planificación y dimensionamiento de centros de distribución, mediante una revisión sistemática; a partir de las publicaciones encontradas en la base de datos bibliográfica Scopus. Los resultados obtenidos arrojaron cinco tendencias: La inclusión de robots automatizados y de montacargas inteligentes, centros de distribución multiobjetivo, diseño de la distribución o layout, el dimensionamiento de lotes y la planificación bajo escenarios de incertidumbre. Con base en estos se pueden tomar decisiones importantes para la mejora de los procesos logísticos, la cadena de distribución y la rentabilidad de la organización.

Palabras clave: infraestructura, costos de distribución, inventarios, toma de decisiones, tecnologías.

Abstract: This paper documents the main criteria that have been included for distribution centers planning and sizing, through a systematic review; based on the research articles in the Scopus bibliographic database. The results obtained show five trends. The inclusion of automated robots and intelligent forklifts, the multi objective distribution centers, lot sizing, distribution design or layout, and planning under uncertainty scenarios. Based on these, important decisions can be made to improve logistics processes, the distribution chain, and the organization's profitability.

Keywords: infrastructure, distribution costs, inventories, decision-making, technologies.

JEL: L6, M10, M11

* Magíster en Negocios Internacionales, Administrador Comercial y de Mercadeo. Docente investigador. Universidad Católica Luis Amigó. Medellín, Colombia. gonzalo.leonri@amigo.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0152-2217>

** Estudiante de Negocios Internacionales, Tecnóloga en Administración Empresarial. Universidad Católica Luis Amigó. Medellín, Colombia. mariana.restrepobe@amigo.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1102-5567>

Critérios para o planejamento do centro de distribuição. Uma revisão bibliométrica

Resumo: Este artigo documenta os principais critérios que foram incluídos para o planejamento e dimensionamento dos centros de distribuição, através de uma revisão sistemática; com base nos artigos de pesquisa do banco de dados bibliográficos Scopus. Os resultados obtidos mostraram cinco tendências. a inclusão de robôs automáticos e empilhadeiras inteligentes, os centros de distribuição multiobjetivo, dimensionamento de lotes, desenho ou layout da distribuição, e planejamento sob cenários de incerteza. Com base nestes, decisões importantes podem ser tomadas para melhorar os processos logísticos, a cadeia de distribuição e a rentabilidade da organização.

Palavras-chave: infraestrutura, custos de distribuição, inventários, tomada de decisão, tecnologias.

Introducción

La planeación de un Centro de Distribución (CD) es uno de los elementos más importantes en la sostenibilidad empresarial, que, de acuerdo con Musolino et al. (2019), deberá realizarse teniendo en cuenta los costos de distribución de mercancía y las políticas logísticas del área de ubicación. El autor también incluye el concepto de ciudades inteligentes en el cual la planeación debe incluir prioritariamente la planificación de la energía y la planificación de las tecnologías de información para poder lograr los objetivos de sostenibilidad.

Kang (2020), afirma que en las últimas dos décadas el fenómeno de expansión logística, que incluye la planeación y diseño de CD alejados de los centros urbanos, se volvió una tendencia mundial buscando transportar grandes volúmenes de mercancía de manera más confiable y a más bajo precio. Adicionalmente la prioridad de las cadenas de suministro reestructuradas ha sido la construcción de sistemas de distribución de mercancías que conecten los lugares de producción y los mercados de consumo mundiales y regionales (Bowen, 2008).

Las empresas, intentan satisfacer las necesidades a partir de aspectos económicos, sociales y medioambientales, al mismo tiempo que procuran tener presente otros aspectos en el diseño en las redes de la cadena de suministro. Zarrinpoor (2019), afirma que también es indispensable el equilibrio de los costos logísticos y de almacenamiento necesarios para la elección de los indicadores de rendimiento, mientras que Shmatko et al. (2021), incluyen la realización de cálculos numéricos mediante la teoría matemática de una simulación informática de procesos óptimos. También se encuentra dentro de la planeación de los CD la inclusión de elementos de última tecnología, tales como vehículos aéreos no tripulados [VANT] tipo drones que, de acuerdo con Liu et al. (2022), se ha convertido en una importante tendencia de aplicación para la administración del inventario, garantizando la exactitud del mismo.

En esta misma orientación se diseñan almacenes y CD teniendo como base simulaciones de planificación jerárquica usando vehículos de guiado automático [AGV] que, de acuerdo con Q. Yang et al. (2020), se basa en una visión global que mejora la eficiencia del almacenamiento y, al mismo tiempo, produce una menor complejidad temporal que otros algoritmos de planificación de rutas en tiempo real.

También, ante la creciente preocupación por los intereses de sostenibilidad, los modelos de gestión de inventarios, que tienen en cuenta el consumo de energías, han obligado a la toma de decisiones que midan las consecuencias energéticas en el tamaño de los lotes en los almacenes frigoríficos, integrando el modelo de cantidad económica de pedido y la cantidad óptima de tamaño de lote que disminuye el coste total del sistema (Marchi et al., 2020).

Ante tanta diversidad de soluciones se genera, a su vez, un vacío de conocimiento en el cual se pueda seguir una ruta de mejores prácticas para la planeación de un CD que reúna las características estratégicas de la organización y las tendencias actuales. En un artículo de revisión Thangam y Uthayakumar (2010), se enfocan en algo muy puntual: la política de precios y tamaño de lote óptimos para un sistema de cadena de suministro de dos almacenes con artículos perecederos, bajo financiación parcial de crédito comercial.

Este artículo pretende orientar sobre las diferentes tendencias y elementos clave a la hora de planear la ubicación, dimensionamiento y construcción de CD con base en la consulta de artículos publicados en la base de datos Scopus. El documento está articulado en tres secciones, adicionales a la introducción. El primero establece la metodología implementada para llevar a cabo la revisión. El segundo aborda los principales hallazgos y tendencias y, en el tercero, se consignan las conclusiones y limitaciones.

Fundamentación teórica

De acuerdo con Geraldine et al. (2008), un CD es un lugar en el cual ocurren varias operaciones logísticas, entre ellas, cargue y descargue de mercancía, recepción, almacenamiento, alistamiento de órdenes, *picking*, *packing* y despacho de las mismas. Dentro de las funciones más importantes se encuentra el almacenamiento el cual de acuerdo con de Koster et al. (2007), se podría planificar a partir de las cinco políticas de asignación de almacenamiento más conocidas, que incluyen las políticas de almacenamiento dedicado, aleatorio, basado en la clase, basado en la rotación y en la ubicación abierta más cercana.

Metodología

Inicialmente, se buscaron artículos relacionados con la planeación de CD en la base de datos Scopus, luego se hizo un primer análisis haciendo uso de las herramientas dispuestas por la misma base, seguido de un análisis cronológico y, por último, se sometieron los resultados de búsqueda a la herramienta VOSViewer para encontrar las relaciones, tendencias y co-citaciones.

Para la consulta en la Base de datos Scopus, se usó una ecuación de búsqueda que incluye los términos “*Distribution centers*” o “*warehouse*” y “*planning*” o “*sizing*” con un rango de fechas abierto, encontrándose 221 documentos que incluyen memorias de conferencias, artículos de investigación, de revisión y encuestas cortas, que se listan en la tabla 1.

Tabla 1.
 Cantidad de documentos encontrados de acuerdo con el tipo de publicación

Tipo de Documento	Número de referencias
Artículos de Investigación	122
Memorias de Conferencias	94
Artículos de Revisión	3
Encuestas Cortas	2

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados de la búsqueda de artículos relacionados con la planeación de centros de distribución, desde 1950 hasta el año 2021.

Los resultados obtenidos se analizaron usando la herramienta provista por la misma base de datos, encontrándose que, frente al tema abordado, se está escribiendo desde 1969 y en las últimas dos décadas el interés y los productos han venido incrementando de manera ostensible, como se aprecia en la gráfica 1, lo cual valida y justifica este documento.

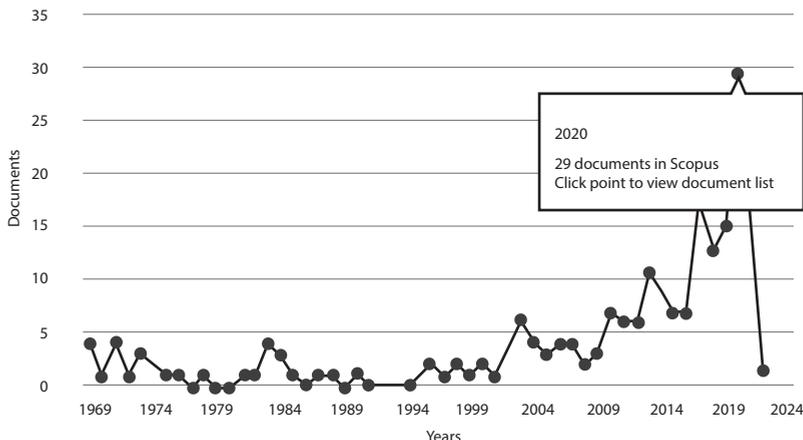


Figura 1. Número de publicaciones por año en referencia a la planeación y dimensionamiento de centros de distribución.

Nota. Figura generada desde la base de datos Scopus usando la herramienta Analyzer.

De los documentos encontrados, el 28,4% están orientados desde las ingenierías, 22,8% pertenecen a ciencias informáticas, el 12,6% están orientados a la toma de decisiones, el 11,3% con orientación matemática, el 8,8% en temas de administración y negocios y el resto en otras orientaciones como economía, ciencias sociales y otros.

Procesamiento de la información

La información se procesó utilizando la herramienta VOSViewer con la que es posible construir clústeres de acuerdo con las temáticas y/o citas de los autores más referidos buscando las relaciones entre sí. La herramienta “permite la construcción y visualización de redes bibliométricas. Estas pueden incluir revistas, investigadores o publicaciones individuales y ser construidas con base en co-citaciones o acoplamientos bibliográficos y relaciones de coautoría” (Pichuante, 2016, p. 45), que permitió confirmar estas. Este algoritmo gráfico se basa en la teoría de grafos, visualizando las investigaciones como nodos y las citas mediante enlaces. De acuerdo con esto, una unidad de conocimiento es representada como un nodo ubicado en la red. Se resaltan con colores los más importantes, de acuerdo a su posición y número de citas y al número de enlaces que los conectan. De los resultados generados por VOSViewer, se obtuvieron los principales autores y tendencias y se organizó la información en términos de antigüedad/actualidad que permite visualizar las principales tendencias y criterios para la planeación y dimensionamiento de los CD.

La metodología descrita ha sido usada en otras investigaciones, permitiendo obtener resultados valiosos (Al Husaeni y Nandiyanto, 2022; Guleria y Kaur, 2021; Yu et al., 2020).

Hallazgos

Tendencias y clústeres

Referente a los criterios de planeación de los centros de distribución, varios autores han escrito diferentes modelos sobre los elementos y tendencias que se deben tener presente a la hora de llevar a cabo la planificación de los CD. Usando la herramienta VOSViewer se realizaron los ajustes para determinar las tendencias y criterios más importantes en la planeación de CD. En los clústeres resultantes encontramos: -la inclusión de robots automatizados y el uso de montacargas inteligentes, -los centros de distribución con múltiples objetivos, -el diseño de la distribución o *Layout*, -el dimensionamiento de lotes y -la planificación bajo escenarios de incertidumbre, como se aprecia en la figura 2. Estas tendencias serán explicadas a continuación.

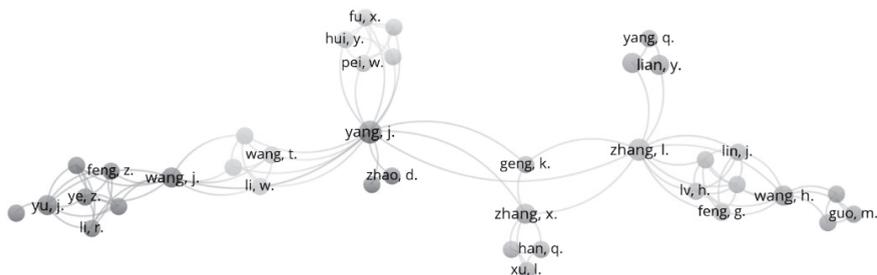


Figura 2. Clústeres generados a partir de las citas y co-citaciones.

Nota. Elaboración propia.

Planeación de los centros de distribución incluyendo robots

En el primer clúster se encuentran Karasek et al. (2013), quienes para resolver los problemas que se abordan en la planeación del CD, que son de carácter logístico y de almacenamiento; proponen la optimización de alguna parte de la disposición del almacén, el diseño de la recepción y despacho de mercancía y el diseño de otras áreas de manipulación, haciendo uso de métodos totalmente automatizados que incluyen vehículos internos, y otros dispositivos tecnológicos conocidos como robots. Esta solución involucra la programación de rutas de estos vehículos, desde programaciones matemáticas sencillas hasta complejas soluciones con métodos heurísticos. Como ejemplo, B. Yang y otros (2020), proponen un nuevo algoritmo de planificación de trayectorias para robots de almacén basado en un modelo de cuadrícula bidimensional.

Para la planificación de trayectorias mejoradas haciendo uso de robots, varios autores plantearon diferentes métodos, Bolu y Korçak (2019), propusieron una solución para la planificación de trayectorias en varios escenarios con la intervención de robots autónomos para el ahorro de tiempo, energía y minimización del error humano, al igual que Han y Yu (2019), sin embargo, su propuesta está basada en un algoritmo en red. Por otro lado, Tsang et al. (2018), ofrecen estas mismas soluciones para robots móviles por medio de un algoritmo de planificación de trayectorias locales, basado en un campo de potencial semicompleto, denominado campo de potencial artificial de excitación/relajación recursiva [RERAPF]; por su parte, Kumar y Kumar (2018), ofrecen un algoritmo de planificación de trayectoria de un robot móvil sin colisiones durante todo su trayecto. Así mismo, Zhang y otros

(2018), proponen un método de enrutamiento sin colisiones para los Sistemas de Vehículos Guiados Automatizados [AGVs] basado en la clasificación de colisiones, apoyado en análisis y experimentos. En el caso de Teja y Kumaar (2018), que mediante código QR, presentan el desarrollo de un algoritmo de planificación de rutas eficientes para robots móviles de gestión de almacenes, asegurando un flujo eficiente y garantizando su distribución continua hacia y desde las estaciones de forma efectiva.

Hvezda et al. (2018), analizan la toma de decisiones pertinente sobre qué mercancías serán entregadas, en que tiempo, a qué estación de *picking*, y qué robot será el adecuado, basándose en el estado actual del almacén por medio de algoritmos de planificación de rutas. Truong et al. (2017), pretenden combinar algoritmos de construcción para determinar la ubicación de almacenamiento de acuerdo con el ciclo de viaje de las mercancías. El algoritmo está diseñado para aumentar la eficiencia de la gestión del almacén. Bao et al. (2019), analizan las estrategias de asignación de almacenamiento y la planificación de rutas de AGVS para encontrar la ubicación y la ruta óptima en un almacén tradicional rectangular de 2 bloques. J. Yu et al. (2020), proponen un algoritmo paralelo de optimización tomando como referente el comportamiento de las colonias de hormigas, para la planificación de la ruta del almacén, mejorando así la eficiencia de trabajo de los vehículos de guiado automático (AGVS) y también la eficiencia del procesamiento de los pedidos en los almacenes inteligentes.

En forma paralela, Vivaldini et al. (2010) proponen el uso de montacargas inteligentes, solución sostenible que puede reducir el costo final. Hara et al. (2003) proponen un algoritmo para la asignación de montacargas elevadores en un trabajo de ordenamiento de productos, para gestionar tanto el almacenamiento como la operabilidad en el almacén de planta.

Centros de distribución multi-objetivo

Autores como Zhang et al. (2020) han revisado la planificación de los CD a partir del almacenamiento, teniendo como premisa el multi-almacenamiento sin almacén fijo; en este, cualquier mercancía puede ser almacenada en cualquiera de los almacenes que conforman el clúster. Para el problema del almacenamiento no fijo en múltiples almacenes, hay que tener en cuenta al menos dos vínculos clave. Uno es la distribución de una variedad de mercancías a almacenar en los almacenes conectados por diferentes canales, y el otro es orientar los tipos de mercancías asignadas a cada almacén y la cantidad prevista para la ubicación. Además, los dos eslabones deben estar acoplados entre sí (Basak et al., 2013).

Al asignar la cantidad de mercancías a cada almacén, el límite superior del volumen de almacenamiento afectado por la planificación de la distribución de los almacenes y las normas de almacenamiento en cada almacén, buscan mejorar la eficiencia del transporte de mercancías fuera y dentro de cada clúster de almacenes, que podrían estar ubicados en un puerto, mediante el análisis de la capacidad máxima del almacenamiento y transporte; de igual forma, el equilibrio de la tasa de ocupación de los almacenes. Dentro del modelo de reserva a plazo, Yilmaz et al. (2015) apuntan un procedimiento heurístico de solución secuencial, presentando un modelo global para la evaluación y la toma de decisiones de almacén e inventario, con relación al nivel de servicio y a las decisiones de inventario, así como con las decisiones de almacén y el coste de escasez. Jolayemi y Olorunniwo (2004) desarrollaron un modelo determinista para la planificación de las cantidades de producción y transporte en un entorno de multiplanta y multialmacén con capacidades extensibles, permitiendo cubrir los déficits por medio del uso de inventarios y la subcontratación.

Diseño de distribución o layout

De acuerdo con Zhao et al. (2020), la planeación de la distribución física o *layout*, es una planificación sistemática de la distribución que combina el análisis logístico y el diagrama de relaciones en el lugar de trabajo, y se analiza la relación entre la logística y la no logística para formar una distribución de áreas funcionales. Estos mismos autores proponen, entonces, un esquema de fusión del algoritmo genético de colonias de hormigas, basado en la planificación sistemática de la distribución (SLP) y el algoritmo GA-ACO; esta combinación se ha convertido en un método utilizado para obtener un plan de distribución. En esta misma tendencia, Zhang et al. (2017), presentan estrategias combinando la distribución del almacén y el tamaño de los lotes capacitados, con un enfoque heurístico de relajación y fijación de Lagrang. Para mejorar la eficiencia operativa y reducir los costes de funcionamiento en los CD, Qin (2014) abarca el estudio de la planificación de los procesos de distribución de las áreas funcionales, selección de las instalaciones, los equipos y el almacenamiento de la carga; mientras que Lee et al. (2003) proponen un modelo para calcular los parámetros a partir de una política integrada de reposición de inventarios. Por su lado, Askin et al. (2014) planifican la ubicación de almacenes de productos múltiples y de la distribución teniendo en cuenta el inventario para reducir los costes y mejorar el servicio; siguiendo la misma línea de reducción de coste total de los sistemas de inventario y almacén y, Strack y Pochet (2010), proponen restricciones de capacidad del almacén evaluando el valor de la integración de las decisiones tácticas de almacén e inventario.

Uno de los temas más notables en el Sistema de Gestión de Almacenes (SGA) es la seguridad referente a la colocación óptima de los productos y de las personas en un sistema sostenible, para esto, Trab et al. (2015) aseguran que reduciendo el

tamaño de las ubicaciones flotantes se evitan accidentes por la incompatibilidad de los productos, en ganancia a reducir costos logísticos y subir niveles de servicio de almacenamiento. De la misma forma, Faber et al. (2002) sostienen que la implementación de este sistema es una condición necesaria para lograr de forma eficiente el rendimiento de las operaciones de almacenamiento, si se quiere tener una ventaja competitiva, implementando un SGA a medida. Por último, Poon et al. (2011) describen un sistema de planificación de operaciones de almacén en tiempo real (R-WOPS) que, mediante pruebas de simulación, genera planes de rutas de recogida y entrega para pedidos de reposición de pequeños lotes de forma eficiente.

Planeación de centros de distribución a partir del dimensionamiento de lotes

De acuerdo con Pochet y Wolsey (2006) el problema clásico de dimensionamiento de lotes se basa en tres supuestos: 1-los inventarios se almacenan en un único almacén con capacidad ilimitada, 2-todos los artículos recibidos son de calidad perfecta; y 3 -la capacidad del proveedor es infinita. A partir de estos supuestos, Atabaki et al. (2020) intentan resolver uno de los problemas más importantes en el campo de inventarios y de la producción, la disminución de los costos del sistema, obteniendo el direccionamiento adecuado de lotes dinámico y multi-período.

En temas relacionados con dimensionamiento, Iris y Yenisey (2012) advierten sobre la implementación de algoritmos metaheurísticos para solucionar problemas de dimensionamiento de lotes y la asignación de almacenamiento predefinido. Por otro lado, (Rao y Rao, 1998) se basan en procedimientos de solución para el dimensionamiento por medio de tres extensiones del modelo estático implicando costes variados en el tiempo, economías de escala y una versión estocástica; mientras que Jaruphongsa et al. (2004) tienen en cuenta la capacidad del almacén y la ventana de tiempo de entrega, en el dimensionamiento dinámico de lotes para una cadena de suministro simple, proporcionando un algoritmo de tiempo polinómico.

Por otro lado, Federgruen y Tzur (1999) explicaron una fórmula heurística de partición del tiempo para problemas dinámicos de dimensionamiento de lotes en sistemas de producción/distribución multi-artículo y multi-ubicación.

Hoseini et al. (2019) afirman que, mediante la gestión del tamaño de los lotes en las Cadenas de Suministro, las empresas son capaces de reducir los costes adicionales y ofrecer un valor extra a los consumidores; mientras que Vroblefski et al. (2000) determinaron un dimensionamiento eficiente mediante una estructura de costos de transporte para almacenes que tengan distribución en serie. Los problemas de ubicación y preparación de pedidos en la planificación de almacenes de tamaño y pedidos reducidos, es complejo dadas sus características, por lo

tanto, Silva et al., (2020) presentaron una fórmula metaheurística de búsqueda de Vecindario Variable General, mostrando resultados positivos para dichos almacenes. Adicionalmente, para esta misma problemática se han desarrollado teoremas matemáticos como los de Thangam y Uthayakumar (2010) que se utilizan para determinar la política de inventario óptimo, mediante un modelo económico basado en la cantidad de pedidos de artículos perecederos. Con la implementación de la lógica de la Planeación de los Recursos de Distribución (DRP), Rizkya et al. (2018) consideran que se puede conocer el número óptimo de tamaño de los lotes y la frecuencia de pedidos, al igual que las existencias de seguridad en cada CD.

Planeación de centros de distribución bajo modelos de incertidumbre

De acuerdo con Awasthi et al. (2011), la actividad del transporte ha crecido enormemente, lo que sin duda ha afectado a las condiciones de desplazamiento y de vida en las zonas urbanas. Teniendo en cuenta el crecimiento en el número de movimientos de mercancías y sus impactos negativos sobre los residentes de la ciudad y el medio ambiente, las administraciones municipales están aplicando regulaciones para el transporte de mercancías, han restringido el horario y las zonas de entrega, la tasa de congestión, etc. De allí surge la Incertidumbre. Por ejemplo, si los CD se ubican cerca de las instalaciones de los clientes, aumentará la congestión del tráfico en las zonas urbanas. Si se sitúan lejos, los costes de distribución para los operadores serán mucho más elevados. En estas circunstancias, está claro que la planificación de la ubicación de los CD es una decisión compleja que implica la consideración de múltiples criterios como la máxima cobertura de los clientes, los mínimos costes de distribución, el menor impacto sobre los residentes de la ciudad y el medio ambiente, y la conformidad con la normativa de transporte de la ciudad.

En la tabla 2 se listan las consideraciones más importantes propuestas por Awasthi et al. (2011).

Tabla 2.
Criterios para la selección de la ubicación

Criterio	Definición	Tipo de criterio
Accesibilidad	(C1) Acceso mediante medios de transporte públicos y privados al CD.	Beneficio
Seguridad	(C2) Seguridad del emplazamiento frente a accidentes, robos y vandalismo.	Beneficio
Conectividad con el transporte multimodal.	(C3) Conectividad del CD con otros modos de transporte, por ejemplo, autopistas, ferrocarriles, puertos marítimos, aeropuertos, etc.	Beneficio
Costes	(C4) Costes de adquisición de terrenos, recursos de vehículos, conductores e impuestos, etc.	Coste
Impacto medioambiental.	(C5) Impacto del CD en el medio ambiente, por ejemplo, contaminación atmosférica, ruido.	Coste
Proximidad a los clientes.	(C6) Distancia del CD a las ubicaciones de los clientes.	Beneficio
Proximidad a los proveedores.	(C7) Distancia del CD a las ubicaciones de los proveedores.	Beneficio
Disponibilidad de recursos.	(C8) Disponibilidad de materias primas y recursos laborales.	Beneficio
Cumplimiento de la normativa sobre transporte sostenible.	(C9) Capacidad de cumplir la normativa sobre transporte sostenible impuesta por las administraciones municipales, por ejemplo, horarios de entrega restringidos o zonas de entrega especiales.	Beneficio
Posibilidad de expansión	(C10) Capacidad de aumentar el tamaño para adaptarse a la creciente demanda	Beneficio
Calidad del servicio.	(C11) Capacidad de garantizar un servicio puntual y fiable.	Beneficio

Nota. Tabla tomada de Awasthi et al. (2011). Se puede observar que los criterios C3 y C4 pertenecen a la categoría de coste, es decir, cuanto más bajo es el valor, mayor preferencia en la alternativa para la mejor ubicación. El resto de criterios son de tipo beneficio, es decir, cuanto más alto sea el valor, mayor preferencia en la alternativa para la mejor ubicación.

Lo ideal es que las ubicaciones potenciales sean aquellas que satisfagan los intereses de todas las partes interesadas de la ciudad, es decir, los clientes actuales y potenciales, los residentes de la ciudad, los operadores logísticos, las administraciones municipales, entre otros.

Awasthi et al. (2011) sostienen que se debe de planear el almacén teniendo en cuenta la ubicación de los Centros de Distribución Urbana (CDU) existentes y la aplicación de la técnica para ordenar la preferencia por similitud con la situación ideal (TOPSIS, por sus siglas en inglés). Así mismo, Aghezzaf (2005) en particular, apunta que la variabilidad de la demanda es la única fuente de incertidumbre de la planificación estratégica en cuanto a la capacidad y localización de los CD.

Otras propuestas

Se encontraron otros artículos de investigación para la planeación de CD, algunos de ellos bastante interesantes, aunque ninguno llega a representar más del 1% de las tendencias, con fundamentaciones totalmente disímiles de las descritas previamente. Se resumen en la tabla 3 las que, a criterio de los autores, podrían ser de relevancia para estudios posteriores.

Tabla 3.
Otras investigaciones encontradas

Autores	Año de publicación	Breve descripción del criterio
Ito T, Mousavi Jahan Abadi SM	2002	Tecnología bajo agentes, que se denomina AWAS (Modelo basado en agentes para el sistema de almacenes).
Bard JF, Morton DP, Wang YM	2007	En centros de procesamiento y distribución de correo (P&DC) del Servicio Postal de Estados Unidos (USPS), desarrollo de un programa entero estocástico en dos etapas con recurso para el análisis.
Cheng C, Wu Y, He Q	2008	Programación <i>Backtrack</i> , equilibrando peso y volumen de la carga del camión.
Gašpar V, Madarász L, Paralič J, Ténaiová K	2011	Aplicación de almacén cliente Microsoft Dynamics Navision 5.0, eliminando o acortando actividades.
Liao JJ, Huang KN, Chung KJ	2012	Decisión de la adquisición de nuevos almacenes para almacenar más cantidad y obtener crédito comercial.
Lam HY, Choy KL, Ho GT, Cheng SW, Lee CK	2015	Sistema (K-LOPS) , mediante la tecnología de identificación por radiofrecuencia para recoger datos logísticos en tiempo real.
Fernández MB, La Rotta EC, Ramírez MM, Quiroga OR	2016	Planificación colaborativa horizontal.
Hütter C	2016	Uso de lanzaderas, manteniendo un acceso rápido a todas las mercancías.
Claes D, Oliehoek F, Baier H, Tuyls K	2017	Por medio de simulación, utilización del Árbol de búsqueda Monte Carlo (MOTS).
Rahayu S, Ridwan AY, Saputra M	2019	Concepto de almacén ecológico, planificación de recursos empresariales (ERP) en la industria del curtido de pieles.
Shiau JY, Huang JA	2020	Planificación de ondas para la preparación de pedidos.

Nota. Elaboración propia.

Se encontró que el diseño del *Layout* es uno de los métodos de planeación más antiguo y de mayor uso, que, de acuerdo con la revisión, se ha venido nutriendo de variables que determinan el tamaño del almacén y la ubicación de la mercancía, de acuerdo con las necesidades propias de cada organización.

Se encuentra también que, en la mayoría de propuestas, aunque hay tendencias principales, estas están combinadas con metodologías nuevas que involucran un componente tecnológico importante, buscando optimizar los tiempos en cada una de las operaciones.

La literatura encontrada es abundante en soluciones, así que si alguna empresa colombiana se encuentra en proceso de tomar decisiones, tanto de ubicación, planeación o dimensionamiento, podrá encontrar investigaciones acordes con sus necesidades de las que podría obtener información secundaria para proponer la propia.

Una de las limitaciones que se tuvo en el desarrollo del presente artículo, fue la búsqueda, únicamente, en la base de datos Scopus, cuya literatura y autores por lo general son extranjeros, dejando por fuera la revisión de artículos nacionales o en lengua española que pudieran sesgar los resultados.

Referencias

- Aghezzaf, E. (2005). Capacity planning and warehouse location in supply chains with uncertain demands. *The Journal of the Operational Research Society*, 56(4), 453-462. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601834>
- Al Husaeni, D., & Nandiyanto, A. (2022). Bibliometric Using Vosviewer with Publish or Perish (using Google Scholar data): From Step-by-step Processing for Users to the Practical Examples in the Analysis of Digital Learning Articles in Pre and Post Covid-19 Pandemic. *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 2(1), 19-46. <https://ejournal.upi.edu/index.php/AJSE/article/view/37368>
- Askin, R., Baffo, I., & Xia, M. (2014). Multi-commodity warehouse location and distribution planning with inventory consideration. *International Journal of Production Research*, 52(7), 1897-1910. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.787171>
- Atabaki, M., Pasandideh, S., & Mohammadi, M. (2020). A hybrid invasive weed optimization for an imperfect, two-warehouse, lot-sizing problem. *Journal of Modelling in Management*, 15(4), 1363-1387. <https://doi.org/10.1108/JM2-03-2019-0059>

- Awasthi, A., Chauhan, S., & Goyal, S. (2011). A multi-criteria decision making approach for location planning for urban distribution centers under uncertainty. *Mathematical and computer modelling*, 53(1-2), 98-109. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.07.023>
- Bao, L., Dang, T., & Anh, N. (2019). Storage assignment policy and route planning of AGVS in warehouse optimization. *2019 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE)*. (pp. 599-604). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ICSSE.2019.8823418>
- Bard, J., Morton, D., & Wang, Y. (2007). Workforce planning at USPS mail processing and distribution centers using stochastic optimization. *Annals of Operations Research*, 155(1), 51-78. <https://doi.org/10.1007/s10479-007-0213-1>
- Basak, A., Maity, D., & Das, S. (2013). A differential invasive weed optimization algorithm for improved global numerical optimization. *Applied Mathematics and Computation*, 219(12), 6645-6668. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2012.12.057>
- Bolu, A., & Korçak, O. (2019). Path Planning for Multiple Mobile Robots in Smart Warehouse (Delft University of Technology; IEEE, trad.). *7th IEEE International Conference on Control, Mechatronics and Automation (ICCMA 2019)*. (pp. 144-150). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ICCMA46720.2019.8988635>
- Bowen, T. (2008). Moving places: the geography of warehousing in the US. *Journal of Transport Geography*, 16(6), 379-387. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2008.03.001>
- Cheng, C., Wu, Y., & He, Q. (2008). *Study on truck stowage planning of cargo distribution center in a town* (Vol. 2). <https://doi.org/10.1109/ICICTA.2008.208>
- Claes, D., Oliehoek, F., Baier, H., & Tuyls, K. (2017). Decentralised online planning for multi-robot warehouse commissioning (Das S., Larson K., Winikoff M., & Durfee E. (eds.); DeepMind; et al.; IBM Research; Microsoft; University of Otago; University of Waterloo, Faculty of Mathematics, trad.; Vol. 1). International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems (IFAAMAS). <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85046405601&partnerID=40&md5=ca5e986c30710fafee48395e56a2b683>
- De Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. In *European Journal of Operational Research* (Vol. 182, N. 2, pp. 481-501). <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009>

- Faber, N., de Koster, R., & van de Velde, S. (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 and Logistics Management*, 32(5), 381-395. <https://doi.org/10.1108/09600030210434161>
- Federgruen, A., & Tzur, M. (1999). Time-Partitioning Heuristics: Application to One Warehouse, Multiitem, Multiretailer Lot-Sizing Problems. *Naval Research Logistics*, 46(5), 463-486. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6750\(199908\)46:5<463::AID-NAV2>3.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6750(199908)46:5<463::AID-NAV2>3.0.CO;2-S)
- Fernández, M., La Rotta, E., Ramírez, M., & Quiroga, O. (2016). Collaborative planning capacities in distribution centers. En Zhang L., Song X., & Wu Y. (Eds.), & Federation of Asian Simulation Societies (ASIASIM); The Society for Modeling and Simulation International (SCS) (Trad.), *16th Asia Simulation Conference and SCS Autumn Simulation Multi-Conference, AsiaSim/SCS AutumnSim 2016* (Vol. 643, pp. 622-632). Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2663-8_64
- Gašpar, V., Madarász, L., Paralič, J., & Ténaiová, K. (2011). Design and implementation of a client warehouse application over an enterprise resource planning system for mobile devices. *3rd IEEE International Symposium on Logistics and Industrial Informatics, LINDI 2011*. Budapest. <https://doi.org/10.1109/LINDI.2011.6031123>
- Geraldes, A., Carvalho, M., & Pereira, G. (2008). A warehouse design decision model—Case study. *2008 IEEE International Engineering Management Conference*, 1-5. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4618004/>
- Guleria, D., & Kaur, G. (2021). *Bibliometric analysis of ecopreneurship using VOSviewer and RStudio Bibliometrix, 1989-2019*. Library Hi Tech, ahead-of-print(ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/LHT-09-2020-0218>
- Han, S. D., & Yu, J. (2019). Effective Heuristics for Multi-Robot Path Planning in Warehouse Environments. *2nd International Symposium on Multi-Robot and Multi-Agent Systems, MRS 2019*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/MRS.2019.8901065>
- Hara, T., Higashi, T., Ota, J., & Tamura, H. (2003). Motion planning of fork lift group in warehouse management - Dynamical scheduling of arrangement work. *IEEE International Conference on Robotics, Intelligent Systems and Signal Processing, 2003. Proceedings. 2003.* (pp. 312-317) vol.1. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/RISSP.2003.1285593>

- Hoseini, S., Gharaei, A., & Karimi, M. (2019). Modelling and optimal lot-sizing of integrated multi-level multi-wholesaler supply chains under the shortage and limited warehouse space: generalised outer approximation. *International Journal of Systems Science: Operations and Logistics*, 6(3), 237-257. <https://doi.org/10.1080/23302674.2018.1435835>
- Hütter, C. (2016). More Shuttles, Less Cost: Energy Efficient Planning for Scalable High-Density Warehouse Environments. *Proceedings of the International Conference on Automated Planning and Scheduling*, 26, 403-411. <https://ojs.aaai.org/index.php/ICAPS/article/view/13782>
- Hvezda, J., Rybecky, T., Kulich, M., & Preucil, L. (2018). Context-Aware Route Planning for Automated Warehouses. *21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. (pp. 2955-2960). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2018.8569712>
- Iris, C., & Yenisey, M. (2012). Multi-item simultaneous lot sizing and storage allocation with production and warehouse capacities. In *3rd International Conference on Computational Logistics, ICCL 2012: Vol. 7555 LNCS*. (pp. 129-141). https://doi.org/10.1007/978-3-642-33587-7_10
- Ito, T., & Mousavi Jahan Abadi, S. (2002). Agent-based material handling and inventory planning in warehouse. *Journal of intelligent manufacturing*, 13(3), 201-210. <https://doi.org/10.1023/A:1015786822825>
- Jaruphongsas, W., Çetinkaya, S., & Lee, C.-Y. (2004). Warehouse space capacity and delivery time window considerations in dynamic lot-sizing for a simple supply chain. *International Journal of Production Economics*, 92(2), 169-180. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2003.10.012>
- Jolayemi, J., & Olorunniwo, F. (2004). A deterministic model for planning production quantities in a multi-plant, multi-warehouse environment with extensible capacities. *International Journal of Production Economics*, 87(2), 99-113. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(03\)00095-1](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(03)00095-1)
- Kang, S. (2020). Warehouse location choice: A case study in Los Angeles, CA. *Journal of Transport Geography*, 88, 102297. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.08.007>
- Karasek, J., Burget, R., Uher, V., Dutta, M., & Kumar, Y. (2013). Optimization of logistic distribution centers process planning and scheduling. *2013 6th International Conference on Contemporary Computing*. IC3 2013, Noida. <https://doi.org/10.1109/IC3.2013.6612217>

- Kumar, N., & Kumar, C. (2018). Development of collision free path planning algorithm for warehouse mobile robot. *Procedia Computer Science*, 133, 456-463. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.056>
- Lam, H., Choy, K., Ho, G., Cheng, S., & Lee, C. (2015). A knowledge-based logistics operations planning system for mitigating risk in warehouse order fulfillment. *International Journal of Production Economics*, 170, 763-779. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.01.005>
- Lee, C.-Y., Çetinkaya, S., & Jaruphongsa, W. (2003). A Dynamic Model for Inventory Lot Sizing and Outbound Shipment Scheduling at a Third-Party Warehouse. *Operations research*, 51(5), 735-747. <https://doi.org/10.1287/opre.51.5.735.16752>
- Liao, J.-J., Huang, K.-N., & Chung, K.-J. (2012). Lot-sizing decisions for deteriorating items with two warehouses under an order-size-dependent trade credit. *International Journal of Production Economics*, 137(1), 102-115. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.01.020>
- Liu, H., Chen, Q., Pan, N., Sun, Y., An, Y., & Pan, D. (2022). UAV Stocktaking Task-Planning for Industrial Warehouses Based on the Improved Hybrid Differential Evolution Algorithm. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 18(1), 582-591. <https://doi.org/10.1109/TII.2021.3054172>
- Marchi, B., Zanoni, S., & Jaber, M. (2020). Energy implications of lot sizing decisions in refrigerated warehouses. *Energies*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/en13071739>
- Musolino, G., Rindone, C., Polimeni, A., & Vitetta, A. (2019). Planning urban distribution center location with variable restocking demand scenarios: General methodology and testing in a medium-size town. *Transport Policy*, 80, 157-166. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.04.006>
- Pichuante, C. (2016). Visualización de grafos de co-autoría y de conocimiento basado en publicaciones científicas, implementada en VOSviewer. <https://repositorio.uc.cl/xmlui/handle/11534/21357>
- Pochet, Y., & Wolsey, L. (2006). *Production Planning by Mixed Integer Programming*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/0-387-33477-7>
- Poon, T., Choy, K., Chan, F., Ho, G., Gunasekaran, A., Lau, H., & Chow, H. (2011). A real-time warehouse operations planning system for small batch replenishment problems in production environment. *Expert systems with applications*, 38(7), 8524-8537. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.01.053>

- Qin, Z. C. (2014). Research on the methods of logistics systems planning in distribution center. En Lin Z., Hu H., Zhang Y., Qiao J., & Xu J. (Eds.), & Institute of Natural Science and Advanced Technology; Management Science and Industrial Engineering; Scientific .Net; Trans Tech Publications inc. (Trad.), 2014 *International Conference on Manufacturing Technology and Electronics Applications, ICMTEA 2014* (Vols. 687-691, pp. 4573-4576). Trans Tech Publications Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.687-691.4573>
- Rahayu, S., Ridwan, A. Y., & Saputra, M. (2019). Designing Green Warehouse Systems Based on Enterprise Resource Planning for the Leather Tanning Industry. *2019 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI)*, 2019, pp.602-607. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ICEEI47359.2019.8988819>
- Rao, A., & Rao, M. (1998). Solution procedures for sizing of warehouses. *European journal of operational research*, 108(1), 16-25. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00159-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00159-8)
- Rizkya, I., Syahputri, K., Sari, R. M., Siregar, I., Tambunan, M., & Anizar. (2018). DRP: Joint Requirement Planning in Distribution Centre and Manufacturing (Nandiyanto A.B.D. & Abdullah A.G. (eds.); Vol. 434). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/434/1/012243>
- Roundy, R. (1985). 98%-Effective Integer-Ratio Lot-Sizing for One-Warehouse Multi-Retailer Systems. *Management science*, 31(11), 1416-1430. <https://doi.org/10.1287/mnsc.31.11.1416>
- Shiau, J.-Y., & Huang, J.-A. (2020). Wave planning for cart picking in a randomized storage warehouse. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(22), 1-28. <https://doi.org/10.3390/app10228050>
- Shmatko, A., Barykin, S., Sergeev, S., & Thirakulwanich, A. (2021). Modeling a logistics hub using the digital footprint method—the implication for open innovation engineering. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(1), 1-16. <https://doi.org/10.3390/joitmc7010059>
- Silva, A., Coelho, L., Darvish, M., & Renaud, J. (2020). Integrating storage location and order picking problems in warehouse planning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102003>

- Strack, G., & Pochet, Y. (2010). An integrated model for warehouse and inventory planning. *European journal of operational research*, 204(1), 35-50. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.09.006>
- Teja, P., & Kumaar, A. (2018). QR Code based Path Planning for Warehouse Management Robot. *7th International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics, ICACCI*. (pp. 1239-1244). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ICACCI.2018.8554760>
- Thangam, A., & Uthayakumar, R. (2010). Optimal pricing and lot-sizing policy for a two-warehouse supply chain system with perishable items under partial trade credit financing. *Operational research quarterly*, 10(2), 133-161. <https://doi.org/10.1007/s12351-009-0066-2>
- Trab, S., Bajic, E., Zouinkhi, A., Abdelkrim, M., Chekir, H., & Ltaief, R. (2015). Product Allocation Planning with Safety Compatibility Constraints in IoT-based Warehouse. *Procedia Computer Science*, 73. 290-297. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.033>
- Truong, N., Dang, T., & Nguyen, D. (2017). Development and optimization of automated storage and retrieval algorithm in warehouse by combining storage location identification and route planning method. *2017 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE)*. (pp. 600-605). <https://doi.org/10.1109/ICSSE.2017.8030945>
- Tsang, K., Ni, Y., Wong, C., & Shi, L. (2018). A Novel Warehouse Multi-Robot Automation System with Semi-Complete and Computationally Efficient Path Planning and Adaptive Genetic Task Allocation Algorithms. *15th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, ICARCV 2018*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ICARCV.2018.8581092>
- Vivaldini, K., Galdames, J., Bueno, T., Araujo, R., Sobral, R., Becker, M., & Caurin, G. (2010). Robotic forklifts for intelligent warehouses: Routing, path planning, and auto-localization. *2010 IEEE International Conference on Industrial Technology*. (pp. 1463-1468). <https://doi.org/10.1109/ICIT.2010.5472487>
- Vroblefski, M., Ramesh, R., & Zionts, S. (2000). Efficient lot-sizing under a differential transportation cost structure for serially distributed warehouses. *European journal of operational research*, 127(3), 574-593. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00342-2](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00342-2)

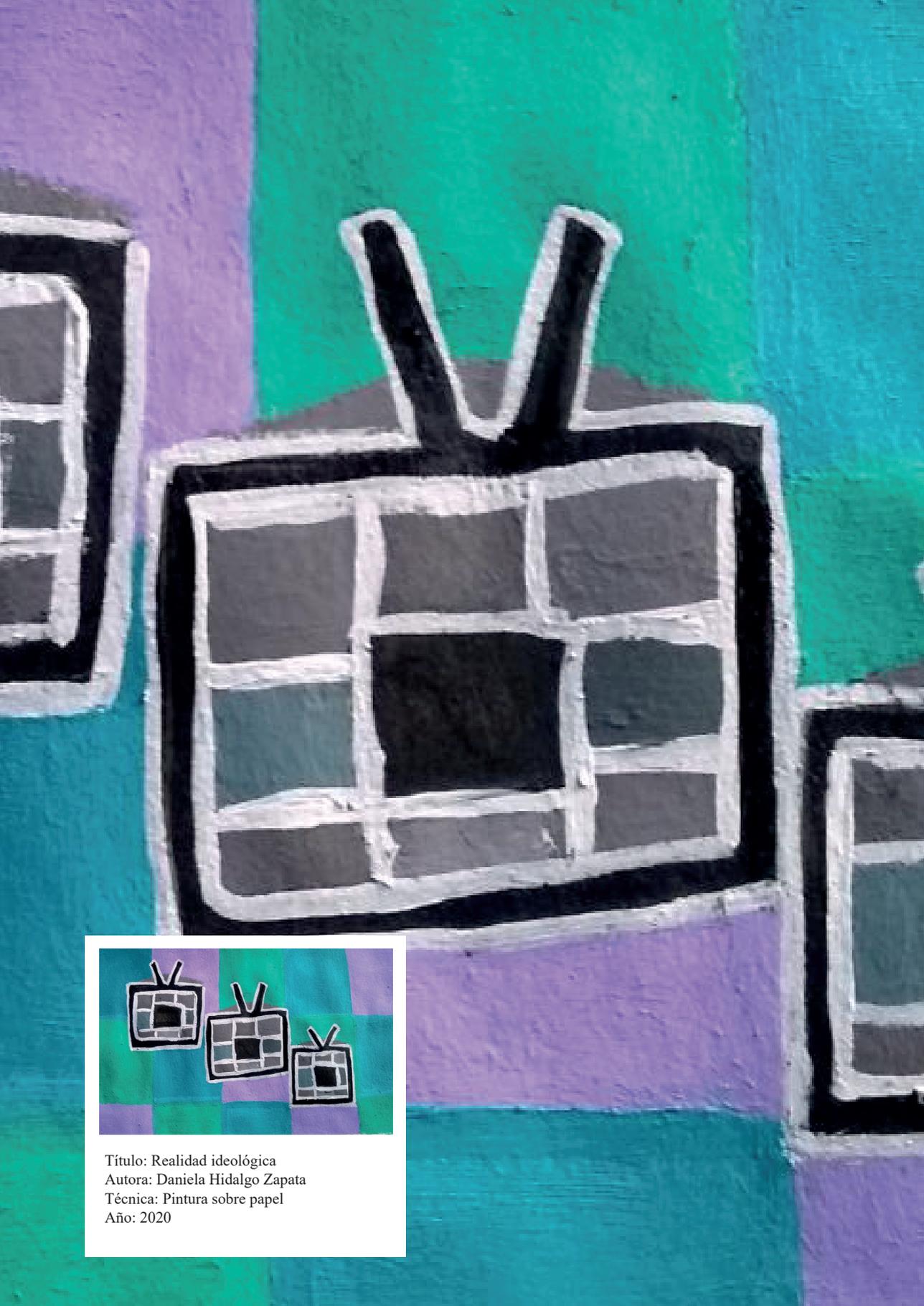
- Yang, B., Li, W., Wang, J., Yang, J., Wang, T., & Liu, X. (2020). A novel path planning algorithm for warehouse robots based on a two-dimensional grid model. *IEEE access: practical innovations, open solutions*, 8, 80347-80357. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2991076>
- Yang, Q., Lian, Y., & Xie, W. (2020). Hierarchical planning for multiple AGVs in warehouse based on global vision. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 104. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2020.102124>
- Yilmaz, O., Baskak, M., & Erbiyik, H. (2015). To define service level in an integrated model for warehouse and inventory planning by utilizing heuristic solution: An example. *2015 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)*. (pp. 1-8). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/IEOM.2015.7093712>
- Yu, J., Li, R., Feng, Z., Zhao, A., Yu, Z., Ye, Z., & Wang, J. (2020). A Novel Parallel Ant Colony Optimization Algorithm for Warehouse Path Planning. *Journal of Control Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2020/5287189>
- Yu, Y., Li, Y., Zhang, Z., Gu, Z., Zhong, H., Zha, Q., Yang, L., Zhu, C., & Chen, E. (2020). A bibliometric analysis using VOSviewer of publications on COVID-19. *Annals of Translational Medicine*, 8(13), 816. <https://doi.org/10.21037/atm-20-4235>
- Zarrinpoor, N. (2019). A chance-constrained fuzzy programming approach for a sustainable supply chain network design under multiple sources of uncertainty. *International Journal of Supply and Operations Management*, 6(4), 349-359. <https://doi.org/10.22034/2019.4.5>
- Zhang, G., Nishi, T., Turner, S. D. O., Oga, K., & Li, X. (2017). An integrated strategy for a production planning and warehouse layout problem: Modeling and solution approaches. *Omega*, 68, 85-94. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.06.005>
- Zhang, X., Geng, K., Zhang, L., & Yang, J. (2020). Research on multi-objective storage planning without fixed storage space in multi-warehouse. *Journal of physics. Conference series*, 1607, 012094. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1607/1/012094>
- Zhang, Z., Guo, Q., Chen, J., & Yuan, P. (2018). Collision-Free Route Planning for Multiple AGVs in an Automated Warehouse Based on Collision Classification. *IEEE Access*, 6, 26022-26035. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2819199>

Zhao, D., Yang, J., & Zhou, H. (2020). Layout Design of Warehouse Based on Systematic Layout Planning and GA-ACO Algorithm. *2020 Chinese Automation Congress (CAC)*. (pp. 7101-7104). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/CAC51589.2020.9327612>

Para citar este artículo:

León, G. y Restrepo, M. (2022). Criterios para la planeación de centros de distribución. Revisión bibliométrica. *En-Contexto*, 10(17), 123-145.
Doi: 10.53995/23463279.1167





Título: Realidad ideológica
Autora: Daniela Hidalgo Zapata
Técnica: Pintura sobre papel
Año: 2020