

# ANÁLISIS DE TÉCNICAS FORMALES EN OPERACIONES DE PEDIDO EN UN CEDIS 3PL DE PRODUCTOS TERMINADOS

Gabriela Gaviño Ortiz , Heriberto Casarrubias Vargas y Maribel Chávez Hernández  
Centro Universitario UAEM Valle de México.  
Ciudad López Mateos. Atizapán de Zaragoza. Estado de México.

## ABSTRACT

In the supply chain, international, national and local companies currently have specified in their logistics operation. This research provides discussion and analysis on the different formal techniques on sequencing, batching, routing and optimization in 3PL systems. This paper identifies analysis strategies and trends that describe the different approaches in order preparation, analysis approach and solution methods. The picking problem is considered, through a literary and comparative review to identify a logistics strategy, with the purpose of considering the design that best fits the context.

The purpose of this proposal is to analyze the formal techniques that allow obtaining a logistics strategy to establish various operating scenarios that can simulate processes for cost minimization, on-time deliveries and quality assurance, through formal techniques (algorithms) that define solving the order preparation problem, by optimizing the picking problem in the CEDIS.

**KEYWORDS:** logistics, order preparation, formal techniques.

**MSC:** 90B90

## RESUMEN

En la cadena de suministro las empresas internacionales, nacionales y locales en la actualidad tienen estándares basados en su operación logística. Esta investigación proporciona la discusión y análisis sobre las diferentes técnicas formales en optimización del ordenamiento de pedidos mediante secuenciación, lotes y enrutamiento en sistemas 3PL. En este trabajo se identifican estrategias y tendencias de análisis que describen los diferentes enfoques en la preparación de pedidos, el planteamiento de análisis y métodos de solución. Se considera el problema del picking, mediante una revisión literaria y comparativa para identificar una estrategia logística, con el propósito de considerar el diseño que mejor ajuste al contexto.

El propósito de la presente propuesta es analizar las técnicas formales que permitan obtener una estrategia logística para establecer diversos escenarios de operación que sirvan como base para simular procesos en la minimización de costos, entregas a tiempo y aseguramiento de la calidad, a través de técnicas formales (algoritmos) para resolver el problema de preparación de pedido, mediante la optimización del problema de picking en los CEDIS.

**PALABRAS CLAVE:** preparación de pedidos, picking, logística, CEDIS.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las dinámicas del sector de servicios logísticos, en el contexto cada vez más globalizado, donde se establecen tendencias de operaciones en cadenas productivas de talla mundial, así como las áreas de investigación que emergen de los conceptos de logística y administración de la cadena de suministro (Supply Chain Management o SCM), trasciende de prácticas enfocadas a estrategias de actividades logísticas, por medio de un valor agregado a partir de servicios especializados, que determinan la diferenciación en aspectos como calidad, tiempo, costo y oportunidad en una proyección de operación 3PL (ver Figura 1).

Uno de los servicios logísticos que juegan un papel fundamental para atender requerimientos de entregas puerta a puerta son: gestión de almacenes, operación de pedidos, empaques y embalajes amigables con el medio ambiente y agradables al cliente final, trazabilidad y rastreabilidad de pedidos, bajos costos de transporte; entre otros elementos que agregan valor al producto desde la perspectiva del cliente, los cuales son generalmente atendidos a través de servicios logísticos especializados (Kirby & Brosa, 2011).

Las diversas actividades logísticas en una proyección de la operación de la organización se conciben con el objetivo de mejorar la eficiencia de sus procesos en la operación de almacenes, distribución y entrega de productos, y por consecuencia la optimización de recursos.

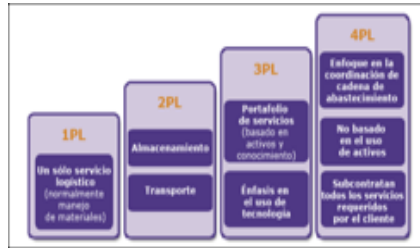


Figura 1. Modelo de Operación PL (<http://serraltalogistica.com/4pl.html>, 2019).

México cuenta con muchas condiciones para convertirse en la plataforma logística de América, debido a sus características como: posición geográfica privilegiada por su cercanía a Estado Unidos, buen clima casi todo el año y una geografía que permite conectar al océano Pacífico con el Atlántico.

Asegurar el buen funcionamiento de los Centro de Distribución (CEDIS) es uno de los temas de mayor relevancia hoy en día, las operaciones diarias de aprovisionamiento de productos, son consideradas un tema complejo, ya que requiere de varios elementos que converjan de forma coordinada e integren de forma eficiente un flujo información y materiales, tales como: ubicación centralizada donde almacenar el inventario, transporte que permita movilizar los productos, contacto con los proveedores que suministren los productos necesarios, elementos de control, y clientes dispuestos a comprar los artículos o servicios comercializados.

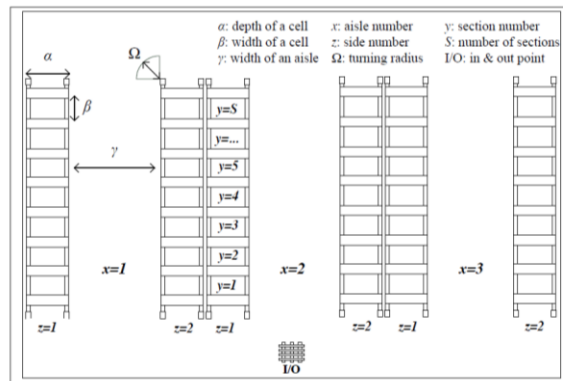


Figura 2 Layout de picking, (Bozer & Kiler 2019)

El presente trabajo se basa en el análisis del proceso de picking, actividad fundamental en el departamento de almacenaje y de esta manera busca analizar y comparar operaciones de picking con el propósito de contextualizar y presentar que técnicas pudieran implementarse de acuerdo a la problemática presentanda, asegurando una optimización de recursos. En el proceso de pedidos dentro de un CEDIS se utiliza regularmente el sistema de radio frecuencia, mejor conocido como RFID por sus siglas en inglés; el propósito fundamental del RFID es transmitir la identidad de un objeto (similar a un número de serie único) mediante ondas de radio. Las fases del picking en el almacén, se resumen de la siguiente manera:

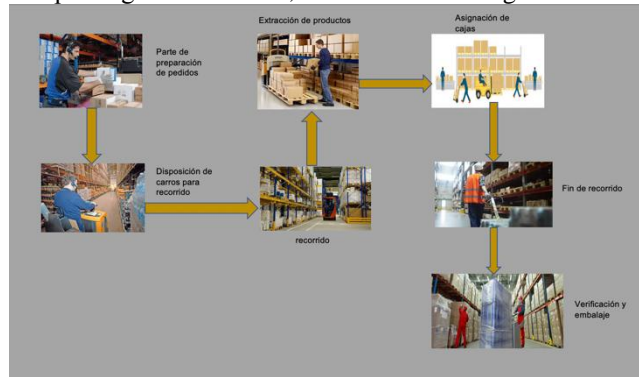


Figura 3 Fases del proceso de picking.(Elaboración propia 2019).

La preparación de pedidos es una función crítica para administrar y operar los almacenes de distribución de manera eficiente en la figura 3 se ilustra el flujo operacional para la recuperación de artículos solicitados por clientes externos o internos. (Wäscher, Dyckhoff, Lackes, & Reese, 2004).

Dado que toda mejora aporta un beneficio de la calidad final y de la satisfacción del consumidor, luego de conocer a fondo este proceso de picking y de analizar técnicas formales (algoritmos), se realizará un análisis crítico y comparación que permitirá proponer soluciones de mejora en el almacén que contribuyan al cumplimiento de un CEDIS 3PL.

## 2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

Considerando como escenario un almacén, los pedidos son la actividad más importante dentro de la gestión, representan y explican más de la mitad de todos los gastos. La mayoría de las industrias manejan varios centros de distribución de productos y su respectivo almacenaje, y cada uno de estos gestionan ordenes de pedido y surtido, buscando un sistema de rutas que permita minimizar la distancia total viajada, y en consecuencia disminuyendo los costos de operación.

Este análisis ayudará en la toma de decisiones de estrategias en logística interna de soluciones de picking en almacenes y centros de distribución (CEDIS), para que puedan ser competitivos y adoptar tecnologías de información y comunicación (TIC), así como aspectos táctico operativos en el ciclo de vida de los almacenes e incrementar de manera significativa el comercio entre países.

El picking es la operación más laboriosa, intensa y repetitiva (Cheng, Chen , & Chan, 2015) generando de un 50% hasta 70% de los costos operativos (Bartholdi & Hackman, 2014).

El tiempo total de picking se descompone en:

1. Tiempo de desplazamiento
2. Tiempo de búsqueda
3. Tiempo de recolección
4. Tiempo de preparación



Figura 4 Tiempo en picking, tomado de Henn S., Koch S., & Wascher G. (2011).

Derivado de lo anterior, los siguientes problemas que se identifican en un CEDIS son:

- ✓ Problema de procesamiento por lotes de pedidos secuenciación y selección por rutas (picking)
- ✓ Batch assignment y problema de secuenciación
- ✓ Enrutar cada order picker para recolectar los items de cada selección de (Picker Routing Problem)

Si embargo la parte más importante es el proceso de toma de decisiones en la organización de ordenes para seleccionar el método apropiado y establecer una serie de soluciones alternativas para mejorar y eficientar el manejo del almacén.

### Objetivo General

Analizar y comparar estrategias logísticas para toma de decisión en secuenciación y agrupamiento de ordenes con el propósito de eficientar el order picking y que pueda servir de base en la proyección y simulación de procesos que determinen la minimización de costos, entregas a tiempo y aseguramiento de la calidad en un CEDIS 3PL de productos terminados.

### Objetivos Específicos

1. Analizar el ciclo de vida en los Centros de distribución (CEDIS).
2. Analizar y comparar técnicas formales en el proceso de Order picking en CEDIS logísticos.
3. Categorizar técnicas formales acorde a los escenarios.

### Metodología

Teniendo en cuenta que en nuestro contexto local en un CEDIS 3PL, una cuestión fundamental es la forma de analizar, comparar y evaluar las técnicas formales. Las estrategias de solución pueden ir desde la simple

"reglas empíricas" a lo complejo, como cálculos computacionalmente intensivos o técnicas de programación matemática. En general, estos son los métodos que encontrarán soluciones aceptables al problema en un tiempo razonable.

Las técnicas formales analizadas y comparadas, determinan la minimización de costo, entregas a tiempo y aseguramiento de la calidad, a través de técnicas formales (algoritmos) que definan la recepción, almacenamiento, preparación de pedidos, clasificación, embalaje, consolidación de carga y envío— prestadores de servicios 3PL en los CEDIS, se presenta en la figura 5 la secuencia de trabajo.

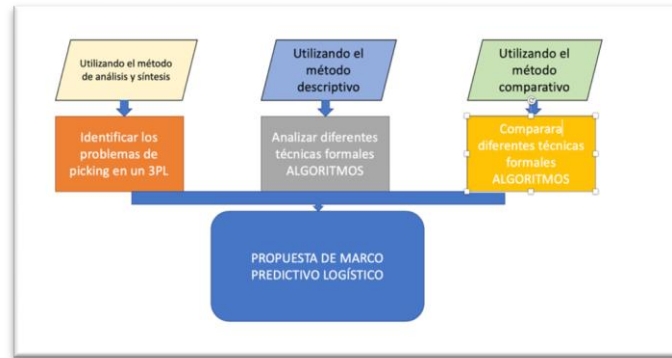


Figura 5 Metodología del Análisis de Técnicas Formales para establecer un marco predictivo logístico en productos terminados en un CEDIS, elaboración propia 2019.

### 3. REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS Y ANTECEDENTES SOBRE ANÁLISIS DE TÉCNICAS FORMALES DE OPERACIONES DE PEDIDOS EN UN CEDIS LOGÍSTICO CON PROYECCIÓN EN 3PL DE PRODUCTOS TERMINADOS

#### La naturaleza de la Simulación Estadística.

Esta técnica es aplicada para simular la operación de distintos procesos productivos del mundo real. El proceso de interés es normalmente llamado sistema. Este sistema se desarrolla para estudiar el proceso desde un punto de vista científico. En este caso normalmente tenemos que tomar consideraciones acerca de su operación, estas son relacionadas mediante entidades lógicas y matemáticas, estas relaciones constituyen un modelo que es usado para tratar de adquirir conocimiento de cómo es el ambiente del sistema estudiado.

Si las relaciones que componen el modelo son sencillas, estas pueden representarse mediante métodos matemáticos (como álgebra, cálculo ó probabilidad) para obtener información exacta de las cuestiones de interés, esta es comúnmente denominada solución analítica.

En una simulación se utilizan recursos de cómputo para evaluar un modelo numérico y los datos son las entradas para caracterizar el comportamiento del proceso y estimar los datos deseados (Law & Kelton, 2000).

A continuación, se presentan técnicas de simulación y métodos más utilizadas en operaciones, ciencia de investigación y gestión:

#### IV.1 Teoría de grafos

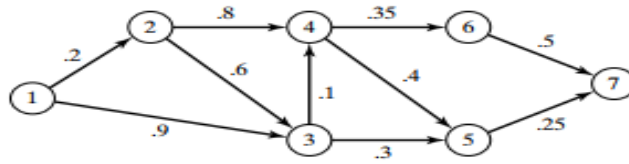
Hay multitud de situaciones, en investigación de operaciones que se puede modelar y resolver como redes mediante nodos conectados en ramas. Encuestas recientes informan que hasta el 70% de los problemas matemáticos en el mundo real se puede representar como modelos relacionados como redes (Taha, 2004).

La teoría de grafos desempeña un papel importante en la fundamentación matemática del Cómputo Científico. Esto es debido a que los grafos constituyen una herramienta básica para modelar fenómenos discretos y son esenciales para la comprensión de estructuras de datos y análisis de algoritmos.

La teoría de grafos estudia las propiedades de los grafos, que son colecciones de objetos llamados vértices conectados por líneas llamadas aristas que pueden tener dirección asignada. Un grafo es una pareja de  $G=(V, A)$ , donde  $V$  es un conjunto de vértices y  $A$  es un conjunto de aristas representados en la (Gráfica 1) la forma de los vértices no es relevante, solo importa a que aristas está unida.

Las aristas en un grafo pueden tener dirección y peso, características que ayudan a la comprensión de la orientación y valores de peso de recorrido. Dichas características son útiles para la implementación de diversos algoritmos de recorrido.

#### IV.1.2.- Algoritmo de la ruta más corta. Algoritmo Dijkstra.



Gráfica 1. Modelos de red de ruta más segura  
Taha, H. A. (2004)

Sea  $G = (V, E)$ , en donde  $V$  es un conjunto y  $E$  es una relación binaria irreflexiva sobre  $V$ , es decir un subconjunto de  $V \times V$  tal que  $(x, x) \in E$  para todo  $x \in E$ . Decimos que  $v$  es el conjunto de vértices y que  $E$  es el conjunto de aristas. En lo sucesivo supondremos que  $V$  es finito.

Sea  $G = (V, E)$  un grafo dirigido ponderado con pesos positivos de  $n$  vértices. Suponiendo que  $a$  y  $z$  son dos vértices en  $V$ , de modo que  $z \neq a$  y existe algún camino de  $a$  a  $z$ .

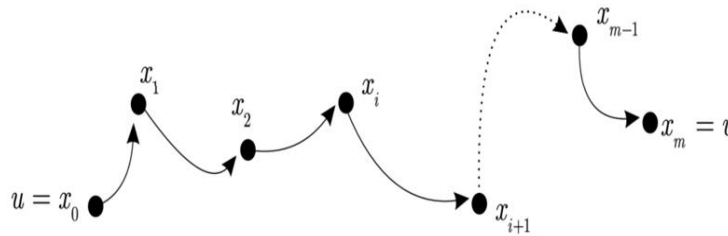


Figura 6 Nodos dijistra. Fuente:Taha, 2004

Este algoritmo es un clásico representante del potencial que tiene esta teoría y su aplicación versa en muchas áreas ingenieriles. Tiene por objeto determinar las rutas más cortas entre el nodo fuente y todos los demás nodos de la red.

Las etiquetas de nodos en el algoritmo de Dijkstra son de dos clases: temporales y permanentes. Una etiqueta temporal se modifica si se puede encontrar una ruta más corta a un nodo. Cuando se ve que no se pueden encontrar rutas mejores, cambia el estado de la etiqueta temporal a permanente (Taha, 2004).

Los algoritmos que abordan el problema de identificar patrones frecuentes en grafos, difieren entre si, por la estrategia de búsqueda que emplean, la forma en que generan candidatos a patrones, la naturaleza de los grafos que examinan y el conjunto de patrones que encuentran los items. El problema específico queda definido por tres características importantes del escenario en el que se desea trabajar: la búsqueda de patrones se realiza en un solo grafo. (Flores G., Carrasco O., & Fco, 2012)

#### IV.2 Programación lineal y Programación dinámica.

Este tipo de algoritmos son exactos para el problema de selección basado en la dinámica de recolección de pedidos utilizando la programación lineal de números enteros mixtos.

El enfoque que se propone para almacenes hasta tres pasillos transversales, y se extiende a cualquier número de pasillos transversales que a menudo ha sido mencionado, este algoritmo demuestra ser extremadamente eficiente para un tamaño realista de almacenes. Sin embargo, tiene algunas restricciones como: precedencia, direcciones de flujo o depósitos múltiples (MPL). (Pansarta, Catusse, & Cambazarda, 2018). Las figuras (4) y (5) representan ejemplos de layout con dos diferentes parameters of a layout correspondiente a una estructura de Steiner de un CEDIS.

Los autores (Ratiff y Rosenthal 1983) propusieron un enfoque exacto utilizando programación dinámica por primera vez, utilizando un solo bloque (es decir, 2 crossaisles), que corresponde al gráfico Steiner que se superpone en la estructura del almacén.

Por otro lado, la formulación basada en flujo del modelo del problema Steiner (TSP) tiene como resultado una relajación lineal débil y es ineficiente en la práctica.

Los autores (Scholz, y otros 2016) proponen una nueva formulación, con una mejora por procesamiento, sin embargo, su modelo es bastante complejo y aún no ofrece resultados convincentes con respecto a su eficiencia a partir de que el diseño crece.

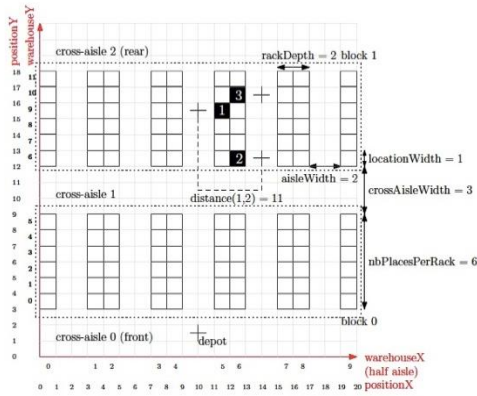


Figura 7 Layout de un CEDIS, (Pansarta, Catuse & Cambazarda,2018)

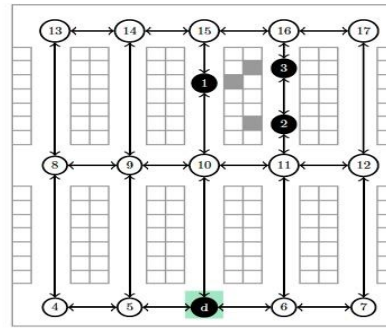


Figura 8 Representación gráfica de un almacén, (Pansarta, Catuse & Cambazarda,2018)

A continuación, se muestra el ejemplo del algoritmo de programación dinámica, presentando cada capa en la que se identifica con un valor de  $l$ , y se establecen tres posibles transiciones de cada estado. El parcial, el tourubgraph, y al final siguiendo el camino negro, se posiciona en la esquina inferior derecha ver gráfica (7).

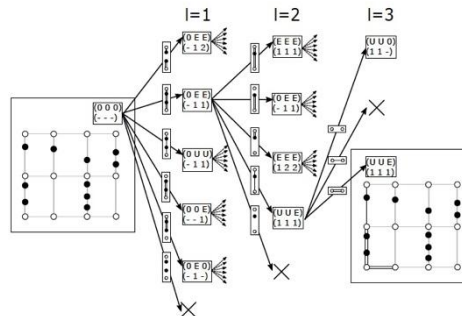


Figura 9 Algoritmo de programación dinámica

El enfoque de programación dinámica es el más rápido ya que todas las instancias aceptadas se resuelven en menos de un segundo. Este método de programación lineal y dinámica pueden ser una pista prometedora para resolver el problema de picking conjuntamente con otros problemas de políticas de almacén o lote.

#### IV.3.-Proceso Order picking

La preparación y selección de pedidos es la actividad principal en la mayoría de los almacenes. Implica el proceso de obtener la cantidad correcta de los productos correctos para un conjunto de pedidos de clientes. La clasificación de pedidos seleccionados en pedidos individuales (clientes) es una actividad necesaria si los pedidos se han seleccionado en lotes.

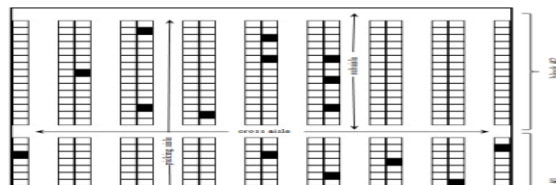


Figura 10.- Layout de un almacen. (Scholz & Wascher,2015)

En tal caso, las unidades seleccionadas deben agruparse por orden del cliente, una vez finalizado el proceso de selección. Después de la recolección, los pedidos a menudo deben empacarse y apilarse en la unidad de carga correcta (por ejemplo, una paleta). El cross-docking se realiza cuando los productos recibidos se transfieren directamente a los muelles de envío (se pueden requerir estancias cortas o servicios, pero se necesita poca o ninguna preparación de pedidos) (Koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2006).

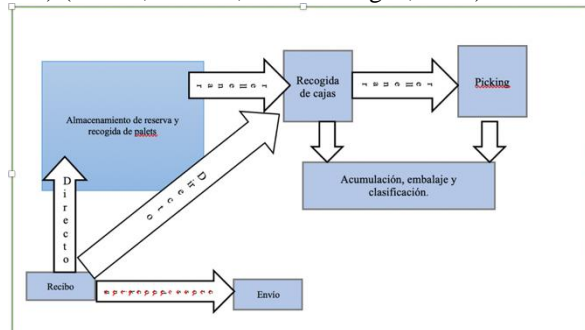


Figura 11 Flujos de almacén. Recuperado de (Tompkins et al. 2003)

#### IV.3.1 Proceso Order picking warehouse

El Sistema de Order Picking (SOP): es la composición de procesos, métodos, y políticas (enmarcado por una estrategia) que se maneja en un centro de distribución alrededor de la preparación de los pedidos (Order Picking) que se entrega a un cliente, siempre con el fin de mantener los niveles de servicio lo más altos posible y reducir al máximo los costos asociados a la operación de Order Picking. Dentro de un SOP, se encontrarán decisiones que están relacionadas con lo siguiente: Cómo almacenar productos, planear la picking route, criterio de agrupamiento de órdenes, asignar zonas de picking fijas para empleados, liberar órdenes de picking; discreto o continuo, y finalmente el método de order picking que se va a utilizar.

Este método determina los posibles ahorros en la distancia de viaje, los métodos de enrutamiento en un almacén de pasillo ancho y otras optimizaciones del proceso de preparación de pedidos se analizan mediante una simulación, los resultados se muestran al usar la combinación adecuada de métodos de optimización, reduciendo la distancia del recolector hasta un 60%

El algoritmo de enrutamiento elige el camino más corto para cada pasillo individualmente: el recolector debe regresar al pasillo transversal delantero o cruzar el pasillo en toda su longitud hasta el pasillo transversal trasero. Esta ruta se denomina ruta compuesta y se muestra en la siguiente figura. La ruta compuesta no es utilizada muy a menudo por otros autores conducir a mejoras significativas (Merkurye, Y, Burinskiene , & Merkuryeva, 2009).

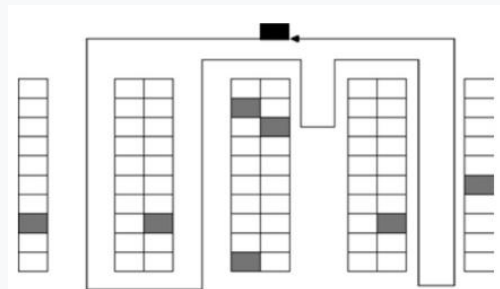


Figura 12 Ruta Compuesta picking warehouse

Buscando mejorar la eficiencia del picking process, incluyendo varias estrategias:

- ✓ Diseño del almacén
- ✓ Estrategias de almacenamiento.
- ✓ Pedidos de los clientes
- ✓ Métodos de enrutamiento en un almacén de pasillo ancho

El objetivo de este caso es minimizar la distancia de recorrido del recolector en un almacén de referencia. Si bien en la literatura se utilizan dos tipos de distancias de viaje para order picking: distancia de viaje promedio por pedido y distancia de viaje total (para un conjunto de pedidos), al minimizar la distancia de viaje promedio, la distancia de viaje total también se minimiza (De Koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2006)



### IV.3.2 Warehouse Layout

En la figura 13 se muestra una imagen esquemática del almacén de referencia con múltiples pasillos. El ancho de los pasillos suele ser de 2.3 metros a 3.5 metros aproximadamente, los ítems (productos) se almacenan en estantes y generalmente se recogen en cajas. El almacén considerado de referencia tiene ocho pasillos paralelos, y cada pasillo contiene cien ubicaciones de picking. El pasillo transversal en el medio del almacén lo separa en dos bloques de almacenamiento y permite tres posibilidades para cambiar entre pasillos: en la parte delantera, en la parte trasera y en el medio.

Los productos se recogen de ubicaciones en el suelo. Según la imagen esquemática del almacén, una celda representa una ubicación. Las ubicaciones tienen 1.2 metros de ancho y 0.8 metros de profundidad. En este ejemplo, el depósito representa una estación de computadora y un punto de entrega. El usuario puede elegir libremente la ubicación del depósito, donde el selector comienza y finaliza, antes de realizar la simulación. Este modelo de simulación explorado es flexible. El modelo permite cambiar la ubicación del depósito y estudiar otras posibilidades (que pueden estudiarse sin cambios esquemáticos). El depósito se puede ubicar (de acuerdo con la figura 13) en el lado izquierdo o derecho, o en el centro de la parte trasera, frontal o derecha del almacén (en el lado izquierdo del almacén, se coloca una pared).

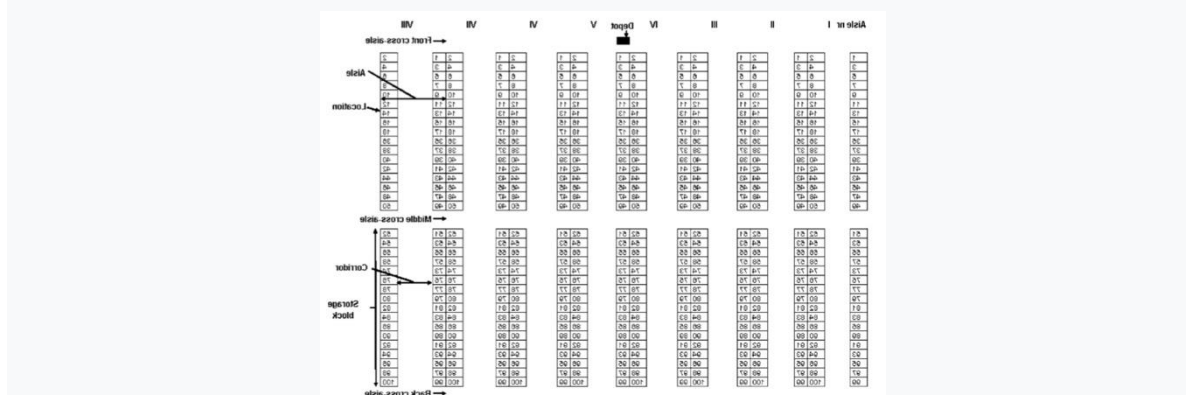


Figura 13 Warehouse Layout

Este sistema se describe de la siguiente manera; el picker recorre las estanterías del centro de distribución, recogiendo los artículos de una orden o de un conjunto de ordenes (lote de una orden o lotes de varias ordenes) dependiendo de la política de recuperación que maneje el centro de distribución, una vez que finalice el recorrido.

### IV.3.3 Batch Picking

Esta es una política de picking mediante la cual se agrupan varias ordenes de pedido que tengan artículos coincidentes en la ruta de picking, es decir que se realiza un cruce de las ordenes que llegan al centro de distribución y posteriormente se realiza el recorrido de recuperación de los productos. Esto se hace con el fin de minimizar la distancia recorrida cuando se tienen ordenes con “estaciones” (o paradas) similares. Se ahorrará tiempo, pues se evitan los desplazamientos innecesarios, pero dado que el lote de ordenes es variable y el agrupamiento se realiza a medida que los pedidos van llegando al centro de distribución (Correa Salazar & Montoya Rengifo, 2011).

#### IV.3.3.1 Métodos de Order Picking (MOP).

En esta política existen dos posibles métodos de order picking (MOP):

##### IV.3.3.1.1 Sort while pick

Es un método de Order Picking que se descuelga de la política de Picking by article (lote variable). Consiste en agrupar los SKU durante el proceso de Picking en cajas diferentes según cada pedido, es decir que se agrupan según la orden de pedido en el lugar correcto mientras el proceso de recuperación de productos se efectúa. Esto evita que se utilice una estación de separación de los pedidos que se recolectan en lotes conjuntos y permitirá que los SKU estén organizados (según destino) una vez el proceso Picking termine.

##### IV.3.3.1.2 Pick and sort

Este método de Order Picking que también sigue la política de Picking by article. Consiste en realizar el proceso de recuperación de todas las SKU y depositar en caja o estiba sin distinción alguna. Una vez finalizado el proceso todas las SKU y el lote de ordenes pasan a una estación dedicada a separar los productos y consolidar las ordenes con cada uno de las SKU solicitadas en las líneas del pedido.



Esto permitirá disminuir el tráfico en el área de picking, aumentar la productividad de los pickers y reducir errores de precisión en los pedidos, pues la persona encargada de consolidarlos está estrictamente dedicada a esa operación (Correa Salazar & Montoya Rengifo, 2011).

#### IV.3.4 Picking by zoning or Pick to box (pick and pass)

Segun el autor De Koster et al., 2007 en su publicación Design and control of warehouse Order Picking. El Picking por zonas es una alternativa que sigue los lineamientos del Picking by Order (Single Order Picking). El área de Order Picking puede ser dividida en varias zonas, a cada zona se asigna uno o más pickers que se encargarán de preparar las líneas de los pedidos correspondientes a la zona.

#### IV.3.5 Progressive zoning

En esta variante, los pedidos parcialmente consolidados, pasan de una zona a otra; generalmente guiados por una banda transportadora. Las ordenes de pedidos van pasando de estación en estación, de tal forma que cuando termine su recorrido, los pedidos estarán completamente consolidados, es decir que no habrá necesidad de separarlos en una estación final, pues ya estarán separados por orden (Correa Salazar & Montoya Rengifo, 2011).

#### IV.3.6 Synchronised zoning

Todos los picker de cada zona reciben la misma orden de pedido, y los pedidos se van consolidando conjuntamente para posteriormente pasar a una estación que los agrupe todos.

#### IV.3.7 Wave Picking

Esta política es muy parecida a la aplicada en el batch picking, en la que también se agrupan órdenes de pedido. La gran diferencia radica en que el agrupamiento se hace basado en una característica común que tengan las órdenes entre sí. Ya sea un criterio de horario, de destino o cualquier otro criterio que permita agrupar las órdenes de pedido para después liberarlas en una oleada de picking en donde todos los pickers trabajan bajo el mismo criterio y con las mismas variantes del batch Picking (Correa Salazar & Montoya Rengifo, 2011).

#### IV.4 Storage Strategies. ABC

En la literatura, las estrategias de almacenamiento (De Koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2006), mencionan la posibilidad de optimizar el picker de acuerdo a las diversas formas en que se encuentran almacenados los productos (ítems) de acuerdo a las características de los mismos.

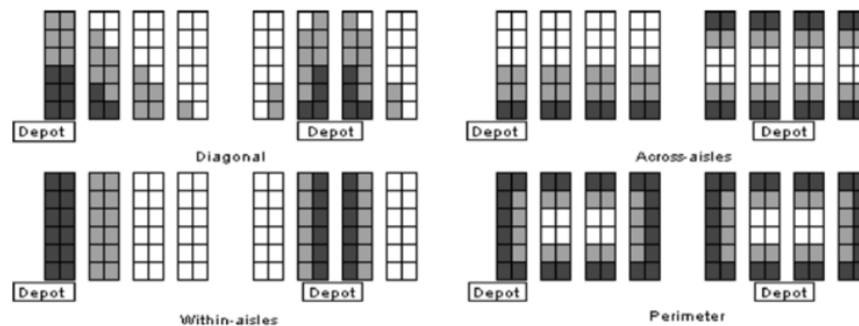


Figura 14 Volume-based storage methods (productos A gris oscuro, productos B gris medio, productos C blancos)

De acuerdo a la figura anterior (Ver figura 12), los métodos de almacenamiento basado en volúmenes:

- **Método de almacenamiento diagonal.** Los productos de mayor volumen se encuentran más cerca del depósito y los productos de menor volumen se encuentran más alejados del depósito.
- **Método de almacenamiento dentro de los pasillos.** Los productos de mayor volumen se encuentran en los pasillos más cercanos al depósito y los productos de menor volumen se almacenan en los pasillos más alejados del depósito.
- **Método de almacenamiento de pasillos transversales.** Los productos de mayor volumen se encuentran a lo largo de los pasillos delanteros y los productos de menor volumen se encuentran a lo largo de los pasillos traseros.
- **Método perimetral.** Los productos de mayor volumen se encuentran alrededor del perímetro del almacén; los productos de menor volumen se colocan en medio de los pasillos

Estas estrategias permiten conocer el flujo de actividades que se llevan a cabo, eliminando las actividades que no generan valor al producto. La correcta asignación de los costos indirectos a los productos y servicios nos permite contar con información oportuna y confiable para la toma de decisiones de acuerdo a la metodología conocida como ABC.

#### IV.5 Métodos de enrutamiento en un almacén de pasillo ancho

En la figura 15, se muestran cinco métodos de picker en un almacén de pasillo ancho, cada método muestra una ruta en la que se espera que el picker se mueva de la ubicación actual a la vecina según la lista de selección, a continuación, se describe cada método:

El primer método (11.I) se visitan todas las ubicaciones en un lado del pasillo; luego el picker visita todos los lugares del otro lado.

El segundo método (11. II) visita dos ubicaciones en un lado del pasillo, el picker se mueve hacia el otro lado del pasillo con dirección a una ubicación hacia arriba o hacia abajo. Cada ubicación, de acuerdo con la lógica de este método recibe un número de identificación.

El tercer método (11. III) después de que ha visitado una ubicación en un lado del pasillo, visita otra ubicación paralela al otro lado del pasillo.

El cuarto método (11. IV) después de visitar cuatro ubicaciones en un lado, el picker se mueve hacia el otro lado y visita cuatro ubicaciones paralelas y posteriormente el picker regresa.

El quinto método (11.V) después de visitar cuatro ubicaciones en un lado del pasillo, el picker se mueve al otro lado del pasillo una ubicación hacia atrás. (Merkuryev, Merkurveva Riga, & Burinskiene, 2009)

En el estudio de caso, los cinco métodos de enrutamiento se encuentran en un almacén de pasillos ancho, están integrados con la ruta compuesta y también se usan en otros diseños de almacén, estrategias de almacenamiento y pruebas de tamaño de lista de selección. (Merkuryev, Merkurveva Riga, & Burinskiene, 2009)

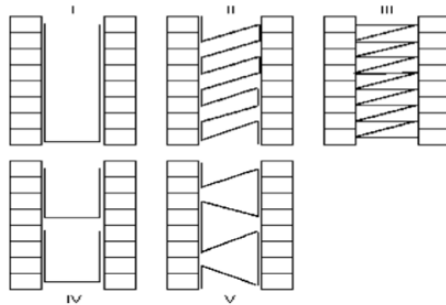


Figura 15 Métodos de enrutamiento en un almacén de pasillo ancho

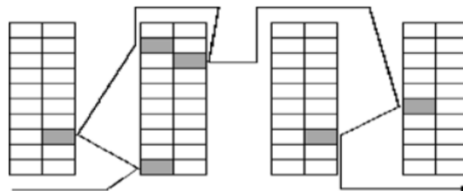
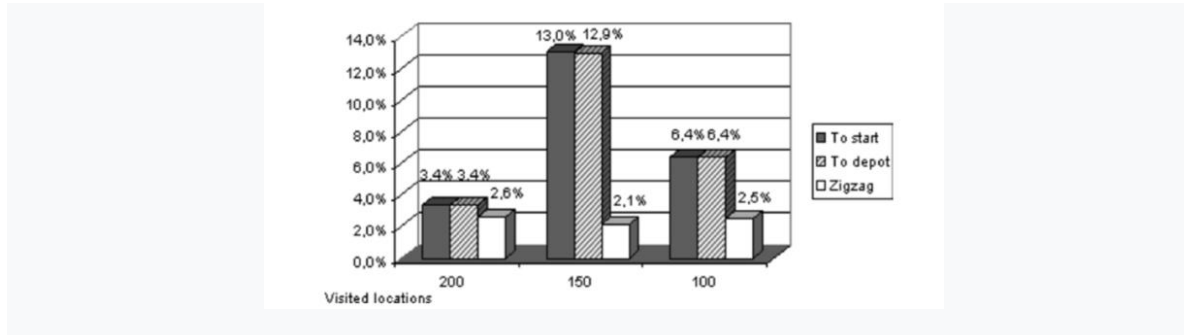


Figura 16 Zigzag travelling in the wide- aisle

(Caron, Marchet y Perego 2000) estudian métodos de enrutamiento en un almacén de pasillo ancho, en donde la distancia de enrutamiento se basa en una línea central para viajar a lo largo del pasillo y en un zigzag que viaja dentro del pasillo para recuperar productos de ambos lados del pasillo.

Este método de desplazamiento en zigzag se procesa una lista de selección, con todas las ubicaciones especificadas para esta selección, para definir el método de enrutamiento más eficiente en un almacén de pasillo ancho y analizar las posibilidades para optimizar el proceso de preparación de pedidos, por lo que se creo un modelo de simulación (Merkuryev, Merkurveva Riga y Burinskiene 2009).

La Descripción del modelo para este estudio, se puede implementar mediante un modelo de simulación en Excel y Visual Basic, el algoritmo de simulación se describe en la hoja "Selección" y utiliza la base de datos de listas de selección, donde se definen tareas de selección y una secuencia en la que se visitarán las ubicaciones de acuerdo con la siguiente lista de selección, y el picker regresa al depósito.



Gráfica 1 Number of picks: total de distancias del viaje desde el primer routing method

El experimento descrito por (Merkuryev, Merkurveva Riga, & Burinskiene, 2009) demuestra que, en la situación considerada, la eficiencia del proceso de selección puede mejorarse en un 68% como máximo colocando el depósito correctamente y eligiendo el método de enrutamiento correcto.

#### IV.6 Técnicas heurísticas. Agente viajero

En el trabajo que presenta (Toro Ocampo, Bolaños, & Granada Echeverri, 2014) algunos aspectos importantes a tener en cuenta en la toma de decisiones en la gestión logística, haciendo un especial énfasis en la red de distribución, se identifica el problema del m-TSP, ( $m$  agentes viajeros), como un problema de optimización matemática combinatorial que debe ser resuelto por medio de operaciones diarias de las organizaciones.

En esta investigación se muestra un panorama de sus aplicaciones y presentan una metodología que permite medir el desempeño de seis estrategias heurísticas de búsqueda local, identificando las rutas necesarias que visiten todos los nodos de la red, teniendo como objetivo la minimización de la distancia total recorrida. La comparación de las estrategias de búsqueda local se realiza sobre una instancia de prueba de la literatura especializada que cuenta con 75 nodos a visitar y una ciudad origen, punto de inicio y finalización de los  $m$  agentes viajeros, se enumeran algunas de sus aplicaciones y se presenta una revisión bibliográfica de técnicas heurísticas para la solución del mismo.

Se propone una metodología que combina una heurística constructiva con heurísticas de mejoramiento, los resultados se obtienen tomando como base una instancia de la literatura especializada que permite evaluar el desempeño de 6 estrategias de búsqueda local. De este trabajo solo vamos a mencionar la parte de picking que es lo que nos infiere con esta investigación.

Los autores (Kara & Bektas, 2006) mencionan que la recolección, distribución, carga, descarga, clasificación y almacenamiento se ejecuta en la estación terminal o depósito. De acuerdo al tipo y volumen de operaciones se define la topología de red más adecuada para cada organización. El problema del m-TSP aparece entonces en este panorama y dependiendo de la aplicación específica aparecerán variantes en cuanto a la cantidad y tipos de depósitos, al número de agentes viajeros (vehículos), cumplimiento de restricciones como ventanas de tiempo, distancias viajadas, número mínimo de visitas de cada vendedor, la máxima o mínima distancia que los agentes viajeros y la forma en que pueden cubrir, tiempos de atención a cada cliente, periodicidad de las visitas, del problema m-TSP y conexiones con otros problemas.

Algunas aplicaciones reportadas en la literatura se presentan:

- i) Programación de impresión de periódicos (Printing press scheduling): Existen cinco pares de items (artículos), los cuales son impresos simultáneamente, el problema de programación consiste en decidir cuál de los tamaños se debe programar y en qué cantidad (Goreinstein, 1970).
- ii) Ruteo escolar (School bus vehicle routing problem, SBRP): Este problema se trata de programar rutas escolares como una variante del problema de m-TSP con algunas restricciones adicionales.

En la que la función objetivo consiste en minimizar el número de rutas teniendo en cuenta que la longitud de las rutas sean lo más cortas posibles y que no se tengan sobrecupos en los camiones y adicionalmente que se cumpla con el horario de ingreso a la escuela (R.D., W.L., R., & Whinston, 1972)

- iii) Problema de programación de grupos o tripulaciones (Crew Scheduling problem). Una aplicación aparece en sistemas de información entre diferentes áreas de un banco, donde la central necesita recoger documentos ó dineros y debe programar las rutas de los equipos de mensajería que garanticen un costo mínimo (J.A. & V.E., 1973).
- iv) Problema de programación de entrevistas (Interview Scheduling problem): (K. C. & R.B., 1992) proponen una aplicación de m-TSP con variaciones entre distintos periodos, para la programación de entrevistas entre agentes turísticos y proveedores de la industria del turismo cuyo objetivo es determinar las rutas de cada agente turístico al conjunto de proveedores.
- v) Problema de programación de laminadores calientes (Hot Rolling Scheduling problem): En la industria del hierro y el acero, las órdenes son programadas sobre un laminador en caliente en el que los costos de preparación de la producción deben ser minimizados. (L.Tang, Liu A, & Yang, 2000)
- vi) El problema de planificación de misiones (Mission planning problem): La programación de misiones consiste en encontrar la ruta óptima para cada soldado (o planeador) para lograr los objetivos de la misión en el mínimo tiempo posible. Esta aplicación incluye construcción, reconocimiento militar de los autores (Brummit & A., 1996) oficina de correos automatizada, robots de rescate ó robots autómatas (Yu, Jinhai, Guochang, & Haiyan, 2002).
- vii) Diseño del sistema global de navegación por satélite topografía redes. GNSS (The design of global navigation satellite system). El GNSS es un sistema de satélite basado en espacio el cual cubre todas las ubicaciones de la tierra, es importante en aplicaciones reales tales como prevención y administración de desastres, medio ambiente, monitoreo agrícola, estado de tiempo, etc. El objetivo es determinar las posiciones geográficas de puntos desconocidos sobre los cuales debe usarse el satélite. (Saleh & Chelouah, 2004).

#### IV.7.- Redes de Petri

Las redes de Petri (Alverca & Valarezco, 2012) son una herramienta de modelado efectiva para la representación y el análisis de procesos concurrentes. Modelar un sistema usando redes de Petri tiene tres ventajas potenciales:

Las redes de Petri pueden ser divididas, lo que facilita su comprensión y reduce los recursos necesarios en la matriz de incidencia. Estas redes se utilizan para abordar sistemas que por su gran envergadura implican matrices de incidencia importantes, los algoritmos para resolver matrices ralas no son aplicables a este caso, puesto que no usan operaciones lógicas simples, complicando su implementación en una FPGA.

Matemáticamente podemos definir a una red de Petri jerárquica como:

$$HPN = \{ \{P_1, T_1, I_1^+, I_1^{2-}, C_1, H_1, m_{01}\}, \{P_1, T_2, I_1^+, I_1^{2-}, H_2, C_2, m_{02}\}, \dots, \{P_n, T_n, I_n^+, I_n^{2-}, H_n, n_2, m_{0n}\} \}$$

Donde: P es un número finito de plazas novacias, T: es un número finito de transiciones  $P \cap T = \emptyset$ ,  $I_1^+$ ,  $I_1^{2-}$  son las matrices de incidencia,  $H_1$ : matriz de arcos inhibidores,  $C_1$ : es un vector que contiene los valores que representan la máxima cantidad de tokens que cada plaza de la subred puede mantener,  $m_{01}$ : es el marcado inicial de la subred (Micolini, Arlettattaz, & Birococo, 2014).

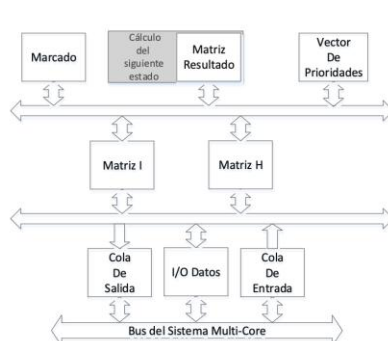


Figura 17 Arquitectura del Procesador de Redes de Petri recuperado de (Micolini, Arlettattaz, & Birococo, 2014).

En el que se aprecia que los objetivos principales de la aplicación de una red de Petri son:

- 1) Elaborar un algoritmo de razonamiento con propagación hacia adelante y hacia atrás mediante números difusos triangulares utilizando redes de Petri difusas.
- 2) Elaborar el algoritmo de razonamiento con propagación hacia adelante y valores frontera utilizando números difusos triangulares.
- 3) Elaborar algoritmos de aprendizaje de pesos mediante redes de Petri difusas con pesos adaptativas modificando los algoritmos de aprendizaje de Widrow Hoff y Backpropagation (BP) para trabajar con números difusos triangulares.

#### **IV.8 Secuenciación por lotes**

Una vez que los pedidos de los clientes se asignan a los pedidos de picking (lotes), la secuenciación por lotes determina el orden en que se programan, liberan y procesan los lotes en la línea de picking, asignan estos pedidos a los recolectores (operadores), se cumple con los requisitos de tiempo de vencimiento, y se minimiza las tardanzas y la anticipación de los pedidos de los clientes (Azadnia, Thaeri, Ghadimi, Mat Saman, & Wong, 2013).

Se considera el problema del procesamiento por lotes de órdenes de proximidad en un almacén de selección manual por ola. El objetivo es minimizar el tiempo máximo de entrega de cualquier lote (esto se conoce como un objetivo común en la selección de olas), proponen un algoritmo de ramificación y unión para resolver este problema exactamente para instancias pequeñas y un procedimiento heurístico de 2 opciones para instancias grandes. Además, afirman que la heurística de 2 opciones proporciona límites superiores muy ajustados y sería suficiente en la práctica.

Un algoritmo está diseñado para resolver instancias de tamaño modesto. Para instancias más grandes, se sugiere utilizar un algoritmo de aproximación de descenso iterado. Chen y Wu (2005) miden la proximidad de los pedidos teniendo en cuenta el nivel de "asociación" entre los pedidos (los pedidos que tienen items similares, tienen una alta asociación y pueden formar un lote).

#### **IV.9 Recolector de rutas.**

El enrutador del selector es un problema tradicional de vendedor ambulante (TSP) repetitiva (Cheng, Chen, & Chan, 2015), que plantea la forma en que los recolectores completan las operaciones de picking siguiendo el camino más corto para minimizar la distancia de viaje y el tiempo de viaje, generando un recorrido o secuencia para recuperar todos los artículos de un lote, comenzando y terminando en el depósito (Bustillo, Menendez, Pardo, & Duarte, 2015).

(Chen, 2005) mencionan que el fin de incluir el servicio al cliente como medida de rendimiento en funciones objetivas, es necesario según las fechas de vencimiento de los pedidos de los clientes. El orden batching de pedidos se implementa en situaciones complicadas, muchos estudios se centran en desarrollar métodos heurísticos para resolverlo. Para los sistemas de selección manual, podemos distinguir dos tipos de heurísticas de orden de lotes: algoritmos de semilla y ahorro.

Los algoritmos de semillas construyen lotes en dos fases: selección de semillas y congruencia de orden. Las reglas de selección de semillas definen un orden de semillas para cada lote. Algunos ejemplos de una regla de selección de semillas son: (a) un orden aleatorio; (b) un pedido con gran número de posiciones; (c) un pedido con el recorrido de selección más largo; (d) una orden con la ubicación más distante (es decir, más alejada del depósito); (f) una orden con la mayor diferencia entre el número de pasillo del pasillo más a la derecha y el más a la izquierda a visitar (Chen et al., 2005; De Koster et al., 2007) para más reglas de selección de semillas).

Las reglas de congruencia de órdenes determinan qué orden no asignada se debe agregar a continuación al lote actual. Por lo general, se selecciona un pedido, que se incluirá en un lote, en función de una medida de la "distancia" desde el pedido hasta el pedido de semillas del lote. Algunos ejemplos son: (a) la cantidad de pasillos adicionales que se deben visitar si se agrega el pedido; (b) la diferencia entre el centro de gravedad del orden y el centro de gravedad del orden de semillas; (c) la suma de las distancias de viaje entre cada ubicación de un artículo en el pedido y la ubicación más cercana del artículo en el pedido de semillas.

Los algoritmos de ahorro se basan en el algoritmo (Clarke & Wright, 1964) para el problema de ruta del vehículo: se obtiene un ahorro en la distancia de viaje combinando un conjunto de recorridos pequeños en un conjunto más pequeño de recorridos más grandes proponen cuatro heurísticas de procesamiento por lotes de las cuales el algoritmo SL (combinar pedidos pequeños con pedidos grandes), que clasifica los pedidos como "grandes" o "pequeños" antes de asignarlos a diferentes lotes, genera las distancias de viaje más pequeñas

#### **IV.10 Métodos de solución metaheurística.**

(Chen et al., 2005; De Koster et al., 2007) Mencionan que existen problemas de procesamiento por lotes de pedidos extremadamente complicados, que para obtener soluciones óptimas de problemas de gran escala,

dentro de un tiempo tolerable, es muy complicado y requiere mucho tiempo obtener soluciones exactas para los problemas de procesamiento por lotes de pedidos, y sólo se puede resolver en un tiempo polinómico si cada lote no contiene más de dos órdenes, para este tipo de problemas existen los métodos de solución heurísticos propuesto por lo autores ya mencionados anteriormente.

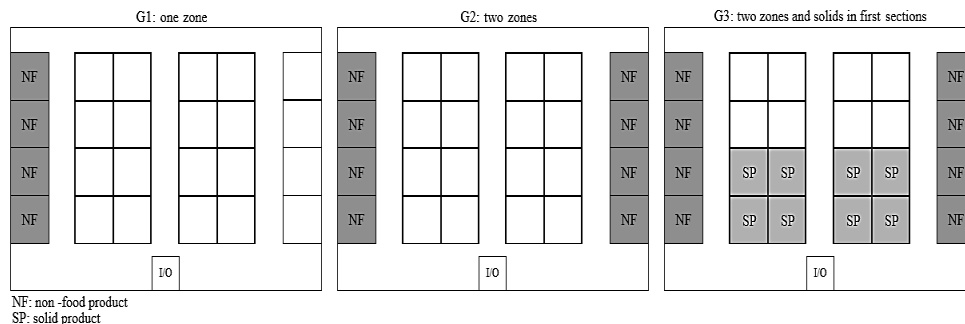
Algoritmos Heurísticos para la resolución del problema.

- **Heurística clásica:** En forma de s, atravesando todos los pasillos adyacentes, que contenga un elemento a elegir.
- **Heurística de punto medio:** Dividen el almacén, el selector solo recorre los primeros y los últimos de la sección, en los intermedios nunca cruza total mente. Es útil para pequeñas secciones.
- **Heurística de distancia más grande:** El selector toma la idea de la forma s, pero solo entra hasta donde dejara un hueco más grande para el siguiente punto, maximizando así, las partes de las naves que nos son recogidas, identificando los espacios vacíos, saliendo del mismo lado en que entro.

A estas heurísticas, se le añaden las restricciones de peso, fragilidad y categorías, una vez que se ha recogido el primer producto, de los productos posteriores se deben de respetar las restricciones atravesando el almacén siguiendo las reglas heurísticas, hasta que la plataforma este llena, pasando al punto de I/O, y así comenzar una nueva ruta.

Todos estos algoritmos se implementan en 3 grupos con las configuraciones y combinaciones de las características analizadas:

- **G1:** Primer pasillo solo a artículos no alimentarios, mientras que todos los productos frágiles y no frágiles se colocan al azar en todo el almacén.
- **G2:** División del área de selección en dos zonas simétricas. permitiendo colocar artículos no alimentarios en las extremidades laterales del almacén. Todos los elementos restantes se colocaron al azar en otro lugar.
- **G3:** Los artículos no alimentarios se colocaron en las extremidades como en G2, pero los productos sólidos (SP), es decir, no frágiles, con una gran capacidad de autoayuda se agrupan en las secciones cercanas a la E / S.



*Ilustración 1 Pasillos simulando los algoritmos heurísticos. Scholz & Wascher, 2015).*

En conclusión, los experimentos numéricos muestran que, en promedio, la aplicación de la heurística representada puede reducir la duración de los recorridos de recolección necesarios en más de 20 'en comparación con una solución.

En comparación con el mejor punto de referencia (CÓW (ii) + Búsqueda local), se puede observar una mejora de hasta tres puntos porcentuales, a pesar del hecho de que la magnitud de las mejoras obtenidas varía con respecto al tamaño del problema (número de pedidos), las características del equipo utilizado (capacidad del dispositivo de selección) y la estrategia de enrutamiento elegida, los resultados producidos por Rank-Based Ant System (RBAS) e Iterated Local Search (ILS) son siempre superiores a todos los puntos de referencia considerados. Además, los experimentos han demostrado que las duraciones alcanzadas de los recorridos de recolección son muy cercanas a las óptimas (en la medida en que fue posible generarlas). Además de la calidad superior de la solución, es importante señalar que los metaheurísticos pueden generar soluciones de alta calidad en un tiempo razonable.

<sup>1</sup> Búsqueda adaptativa. Conjunto de destrucción y reconstrucción para encontrar mejores soluciones, con el fin de aceleración de la búsqueda e inserción del producto.

#### IV.11 Algoritmos genéticos (evolutivos)

Para resolver el problema de encontrar la solución en tiempos adecuados para la operación de picking se plantea una estrategia basada en dos pasos: un algoritmo de agrupamiento que considera un conjunto fijo de órdenes para generar los distintos batching y un algoritmo genético para eficiente la asignación y secuenciación de grupos de órdenes que mejoren la ratio de ordenes servidas.

Las metaheurísticas evolutivas establecen estrategias para conducir la evolución en el espacio de búsqueda de conjuntos de soluciones (usualmente llamados poblaciones) con la intención de acercarse a la solución óptima con sus elementos. El aspecto fundamental de las heurísticas evolutivas consiste en la interacción entre los miembros de la población frente a la búsqueda que se guían por la información de soluciones individuales.

Es importante destacar las diversas ventajas que presenta el uso de técnicas evolutivas para resolver problemas de búsqueda y optimización:

- Simplicidad Conceptual.
- Amplia aplicabilidad.
- Superiores a las técnicas tradicionales en muchos problemas del mundo real.
- Tienen el potencial para incorporar conocimiento sobre el dominio y para hibridarse con otras técnicas de búsqueda/optimización.
- Pueden explotar fácilmente las arquitecturas en paralelo.
- Son robustas a los cambios dinámicos.

Para finalizar, es importante mencionar que la computación evolutiva, como disciplina de estudio, ha atraído la atención de un número cada vez mayor de investigadores de todo el mundo. Esta popularidad se debe, en gran medida, al enorme éxito que han tenido los algoritmos evolutivos en la solución de problemas del mundo real de gran complejidad, sin embargo, es importante tener en mente que los algoritmos evolutivos son técnicas heurísticas.

El uso apropiado y pertinente de los algoritmos evolutivos será sin duda la base de su futuro como alternativa para la solución de problemas complejos y de ahí que se enfatice su importancia (Grupo de Computación Evolutiva CINESTAV-IPN, 2006).

#### 1. Análisis y comparación de métodos y técnicas de soluciones para la selección de pedidos por medio de la identificación de problemas.

Con base en la información antes mencionada se integran varias técnicas y métodos elaborados por diversos autores, las cuales en este trabajo les nombremos técnicas formales, representadas en la siguiente tabla . Diversos autores han propuesto una serie de modelos y técnicas, basándose en diversos problemas de los almacenes, o características específicas de pedidos, y algunos otros criterios como: horarios, destinos, fechas y algunas más; también depende del propósito de los almacenes como: minimizar la distancia de recorrido del recolector, evitar desplazamientos innecesarios, diseños de almacén, realizar el picking en piso, picking en niveles.

La implementación hoy en día considera algoritmos, simulaciones, estrategias heurísticas y algunos criterios considerando el diseño de almacén, el tipo de artículos, su tamaño, entregas y políticas de manejo.

MÉTODO O TÉCNICA	DESCRIPCIÓN	ESCENARIO DONDE SE APLICA	LIMITACIONES
<b>Grafos. Dijkstra</b>	Tiene por objeto determinar las rutas más cortas entre el nodo fuente y todos los demás nodos de la red.	La estrategia de búsqueda que emplean es por medio de la identificación de patrones.	La búsqueda de patrones se realiza en un solo grafo, puede ser inexacta por tal motivo.
<b>Programación lineal</b>	Los algoritmos son exactos para el problema de selección basado en la dinámica de recolección de pedidos utilizando la programación lineal de números enteros mixtos.	El enfoque que se propone para almacenes hasta tres pasillos transversales, y se extiende a cualquier número de pasillos transversales.	tiene como resultado un algoritmo lineal débil e ineficiente en la práctica, además tiene algunas restricciones
<b>Programación dinámica</b>	El enfoque de programación dinámica es el más rápido ya que todas las instancias aceptadas se resuelven en menos de un segundo por medio de rutas (como ramificaciones de árboles).	Este método de programación dinámica pueden ser una pista prometedora para resolver el problema de picking juntamente con otros problemas de políticas de almacén o lote.	
<b>Proceso Order picking warehouse</b>	Este método determina los posibles ahorros en la distancia de viaje y métodos de enrutamiento en un almacén de pasillo.	En un almacén con dos bloques de almacenamiento.	Únicamente se reduce la distancia hasta un 60 %
<b>Warehouse Layout</b>	El modelo de simulación explorado es flexible. La ubicación del depósito está en el centro del frente del almacén de referencia.	Los productos se recogen de ubicaciones en el suelo.	Este método tiene sus limitaciones al utilizarse en las alturas.
<b>Batch Picking Order Picking Sort while pick</b>	Esta es una política de picking mediante la cual se agrupan varios órdenes de pedido que tengan artículos coincidentes en la ruta de picking.	Se aplican en todo tipo de almacenes, esto se hace con el fin de minimizar la distancia recorrida cuando se tienen órdenes con "estaciones" (o paradas) similares.	Como el lote de ordenes es variable, es decir se puede agrupar de dos o más ordenes sin tener limitaciones de un batch a otro, las rutas que se trazan pueden no ser las optimas en todos los casos
<b>Pick and sort</b>	sigue la política de picking by article, consiste en realizar el proceso de recuperación de todas las SKU y depositar en caja o estiba sin distinción alguna.	Consiste en agrupar los SKU durante el proceso de Picking en cajas diferentes según cada pedido de acuerdo a los diferentes criterios como: horario, destino, fecha, etc.	El problema será que se incrementará el tiempo de preparación de las ordenes, por lo tanto el tiempo de ciclo de toda la orden, es una política que como todas debe combinarse con otras para complementar las debilidades que pueda presentar.



<b>Picking by zoning or Pick to box</b>	se divide en varias zonas, a cada zona se asigna uno o más pickers que se encargarán de preparar las líneas de los pedidos correspondientes a la zona.		En esta variante, los pedidos parcialmente consolidados, pasan de una zona a otra; generalmente guiados por una banda transportadora, en dado caso que no cuenten con una ella, el problema será que se incrementará el tiempo de preparación de las ordenes
<b>Wave Picking</b>	Esta política es muy parecida a la aplicada en el batch picking, en la agrupan órdenes de pedido, la diferencia radica en el tipo de agrupamiento, y se basa en criterios de horario, destino o cualquier otro criterio		
<b>Storage Strategies. ABC</b>	Se menciona la posibilidad de optimizar el picker de acuerdo con las diversas formas en que se encuentran almacenados los productos (items) y las características de los mismos.	Los métodos de almacenamiento se basan en los volúmenes, permiten conocer el flujo de actividades que se llevan a cabo, eliminando las actividades que no generan valor al producto,	la implementación de esta metodología representa un costo elevado para la empresa, determina los conductores, que representa un grado de dificultad considerable, centra la atención en la administración y optimización de costos, consume gran parte de los recursos en las partes de diseño e implementación
<b>Métodos de enrutamiento en un almacén de pasillo ancho</b>	Este método incluye 5 métodos de enrutamiento se encuentran en un almacén de pasillos ancho, están integrados con la ruta compuesta y también se usan en otros diseños de almacén, estrategias de almacenamiento.	estudian métodos de enrutamiento en un almacén de pasillo ancho, en donde la distancia de enrutamiento se basa en una línea central para viajar a lo largo del pasillo y en un zigzag que viaja dentro del pasillo para recuperar productos de ambos lados del pasillo	El experimento descrito demuestra que, en la situación considerada, la eficiencia del proceso de selección puede mejorarse en un 68% como máximo colocando el depósito correctamente y eligiendo el método de enrutamiento correcto
<b>Técnicas heurísticas. Agente viajero</b>	se identifica el problema del m-TSP, ( $m$ agentes viajeros), como un problema de optimización matemática combinatorial que debe ser resuelto por medio de operaciones diarias de las organizaciones.	permite medir el desempeño de seis estrategias heurísticas de búsqueda local, identificando las rutas necesarias que visiten todos los nodos de la red, teniendo como objetivo la minimización de la distancia total recorrida.	Las aplicaciones del m-TSP aparecen principalmente en varios problemas de ruteamiento y programación, algunas aplicaciones reportadas en la literatura presentada anteriormente.
<b>Redes de petri</b>	Es un modelado efectivo para la representación y el análisis de procesos concurrentes. El sistema es fácil de entender debido a la naturaleza gráfica y precisa del esquema de representación. Incluye herramientas de análisis tales como los árboles y se establecen relaciones entre ciertas estructuras de redes, comportamiento dinámico y técnicas para la verificación de programas paralelos, pueden sintetizarse usando técnicas "bottom-up" y "top-down", es	Esta implementación se elabora para modificaciones estructurales y para incrementar el potencial y para facilitar la solución de los problemas de análisis de programación concurrente y también pueden ser utilizadas para analizar cuantitativamente los pickers del modelado.	Se elaboran algoritmos de razonamiento con propagación hacia adelante y hacia atrás, mediante números difusos triangulares utilizando redes de Petri difusas; valores frontera utilizando números difusos triangulares y mediante redes de Petri difusas con pesos adaptativos modificando los algoritmos de aprendizaje de Widrow Hoff y Backpropagation (BP) para trabajar con números difusos triangulares.
<b>Secuenciación por lotes</b>	El procesamiento por lotes por proximidad asigna cada pedido a un lote en función de la proximidad de su ubicación de almacenamiento a los de otros pedidos	Se considera este procesamiento por lotes de órdenes de proximidad en un almacén de selección manual por ola, con el propósito de minimizar el tiempo máximo de entrega de cualquier lote.	proponen un algoritmo de ramificación y unión para resolver este problema exactamente para instancias pequeñas y un procedimiento heurístico de 2 opciones para instancias grandes.
<b>Recolector de rutas</b>	El enrutador del selector es un problema tradicional de vendedor ambulante (TSP) que plantea la forma en que los recolectores completan las operaciones de picking siguiendo el camino más corto para minimizar la distancia de viaje y el tiempo de viaje, generando un recorrido o para recuperar todos los artículos de un lote, comenzando y terminando en el depósito	Es necesario según las fechas de vencimiento de los pedidos de los clientes, se analiza la concepción de este contexto en las investigaciones que implican retraso en sus funciones objetivas para el procesamiento por lotes de pedidos	Los algoritmos de ahorro se usan para el problema de ruta del vehículo; obteniendo un ahorro en la distancia de viaje combinando, un conjunto de recorridos pequeños en un conjunto más pequeño de recorridos más grandes propone combinar pedidos pequeños con pedidos grandes antes de asignarlos a diferentes lotes y generar distancias de viaje más pequeñas.
<b>Métodos de solución metaheurística.</b>	Heurística clásica, Heurística de punto medio y Heurística de distancia más grande: El selector en forma $s$ , pero solo entra hasta donde dejara un hueco más grande para el siguiente punto, maximizando así, las partes de las naves que nos son recogidas, identificando los espacios vacíos, saliendo del mismo lado en que entro.	Estas heurísticas se utilizan, donde existen restricciones de peso, fragilidad y categorías, una vez que se ha recogido el primer producto, de los productos posteriores se deben de respetar las restricciones atravesando el almacén siguiendo las reglas heurísticas, hasta que la plataforma este llena, pasando al punto de I/O, y así comenzar una nueva ruta.	En comparación con el mejor punto de referencia (CÓW (ii) + Búsqueda local), se puede observar una mejora de hasta tres puntos porcentuales, a pesar del hecho de que la magnitud de las mejoras obtenidas varía con respecto al tamaño del problema (número de pedidos), las características del equipo utilizado (capacidad del dispositivo de selección) y la estrategia de enrutamiento elegida.
<b>Algoritmos genéticos (evolutivos)</b>	Utilizan estrategias para conducir la evolución en el espacio de búsqueda de conjuntos de soluciones, con la intención de acercarse a la solución óptima	solución de problemas del mundo real de gran complejidad	Es importante tener en mente que los algoritmos evolutivos son técnicas heurísticas, en la práctica suelen aproximar razonablemente bien el óptimo de un problema en un tiempo promedio considerablemente menor que los algoritmos deterministas.

Tabla 1 Análisis y Comparación de técnicas formales. Elaboración propia tomada de varios autores, 2019

Además de estas tendencias mostradas en los resultados y conclusiones, también se sugiere tomar en consideración las limitaciones de capacidad de espacio (Chen & Wu, 2005), ordenes de partición para mejorar la eficiencia de almacenamiento (Tsai et al., 2008), problemas de optimización estocástica (De Koster et al., 2007), y modelos ajustados a las complejas situaciones de los almacenes competitivos.

## II. Resultados y conclusiones

Los modelos de consolidación de carga requieren ser plasmados como mecanismos de coordinación donde se logre la alineación de los agentes y los procesos alrededor de una eficiente manipulación de la recepción, almacenamiento, recepción de pedidos, preparación de pedidos, clasificación, embalaje, consolidación de carga y envío, que minimice los costos por pérdidas, aprovechando al máximo su capacidad y la adecuada manipulación de los productos.

Los almacenes y centros de distribución están interesados en encontrar la forma más económica de elegir pedidos de clientes, lo que implica minimizar los costos de operación e implica la reducción de la distancia de viaje o el tiempo de viaje. En este sentido, la mayoría de los estudios se centran en reducir la distancia total recorrida, transporte y tiempo de búsqueda, y rendimiento por hora.

Derivado de lo anterior el análisis realizado en esta investigación se propone un marco predictivo logístico, en la que se presenta que método o técnica aplicar en un CEDIS de acuerdo con las características, necesidades y problemas en los pedidos.

Método o técnica	Características de pedido que se pueden resolver
<b>Grafos. Dijkstra</b>	Se implementan cuando el problema identificar patrones frecuentes y eso facilita la utilización de grafos.
<b>Programación lineal y programación dinámica</b>	El enfoque que se propone para almacenes hasta de tres pasillos transversales, y se extiende a cualquier número de pasillos transversales
<b>Proceso Order picking warehouse</b>	El objetivo de este caso es minimizar la distancia de recorrido del recolector en un almacén de referencia: distancia de viaje promedio por pedido y distancia de viaje total.
<b>Warehouse Layout</b>	La característica para implementar esta técnica se refiere a que dentro el almacén puede contener hasta ocho pasillos paralelos, y cada pasillo contiene cien ubicaciones de picking. El pasillo transversal en el medio del almacén lo separa en dos bloques de almacenamiento y permite tres posibilidades para cambiar entre pasillos: en la parte delantera, en la parte trasera y en el medio.

<b>Batch Picking</b>	Esta técnica es implementada a lotes variables. Se ahorra tiempo, se evitan los desplazamientos innecesarios, y el agrupamiento se realiza a medida que los pedidos van llegando al centro de distribución.
<b>Order Picking (MOP). Sort while pick</b>	Este método es implementado cuando en un CEDIS existen lotes variables.
<b>Pick and sort</b>	Esta técnica se utiliza para disminuir el tráfico en el área de picking, aumentar la productividad de los pickers y reducir errores de precisión en los pedidos, pues la persona encargada de consolidarlos está estrictamente dedicada a esa operación.
<b>Picking by zoning or Pick to box y Wave Picking</b>	Estas dos técnicas u algoritmos se utilizan cuando las ordenes de pedidos van pasando de estación en estación, de tal forma que cuando termine su recorrido, los pedidos estarán completamente consolidados, es decir que no habrá necesidad de separarlos en una estación final
<b>Storage Strategies.ABC</b>	Esta técnica se utiliza para optimizar el picker de acuerdo con las diversas formas en que se encuentran almacenados los productos (ítems).
<b>Métodos de enrutamiento en un almacén de pasillo ancho</b>	Los cinco métodos de enrutamiento se implementan en almacenes donde existen pasillos anchos, están integrados con la ruta compuesta y también se usan en otros diseños de almacén, estrategias de almacenamiento y pruebas de tamaño de lista de selección
<b>Técnicas heurísticas. Agente viajero y redes de petri:</b>	Estos algoritmos o técnicas son implementados para hacer posible o determinar las posiciones geográficas de puntos desconocidos sobre los cuales debe usarse el satélite. Cuando se tienen múltiples receptores ó múltiples periodos de tiempo se ubican los receptores para realizar una serie de observaciones, el problema de encontrar la mejor orden de sesiones de los receptores puede ser formulado como un m-TSP
<b>Secuenciación por lotes:</b>	Este es implementado cuando el procesamiento es de órdenes por lotes, y con una a proximidad en un almacén de selección manual por ola.
<b>Recolector de rutas</b>	Esta técnica es utilizada cuando existen problemas de secuenciación y enrutamiento de selectores, considerando las fechas de vencimiento como puntos fijos y se implementa en situaciones complicadas existen problemas de procesamiento por lotes de pedidos extremadamente complicados, que, para obtener soluciones óptimas de problemas de gran escala, dentro de un tiempo tolerable, es muy complicado y requiere mucho tiempo obtener soluciones exactas para los problemas de procesamiento por lotes de pedidos, y sólo se puede resolver en un tiempo polinómico
<b>Algoritmos genéticos (evolutivos)</b>	Esta técnica tiene una amplia aplicabilidad. Es superior a las técnicas tradicionales en muchos problemas del mundo real. Tienen el potencial para incorporar conocimiento sobre el dominio y para hibridarse con otras técnicas de búsqueda/optimización. Pueden explotar fácilmente las arquitecturas en paralelo. Son robustas a los cambios dinámicos y simplicidad Conceptual.

*Tabla 2 Marco Predictivo Logístico. Elaboración propia, 2019*

Se concluye en esta investigación que de acuerdo a diversas técnicas formales analizadas en operaciones logística, se presentan los principales enfoques para resolver problemas de pedidos, donde se incluyen varios tipos ordenamiento por lotes, problemas de secuenciación por lotes de un enrutador al despachar el pedido, diferentes requerimientos de pedidos, diferentes diseño de almacenes, tamaños de almacenes, algunas características solicitadas por los clientes en sus pedidos, se presenta la propuesta de un marco predictivo logístico ver tabla (2), de acuerdo con algunas tendencias de investigación sugeridas por varios autores, estos problemas deben ser resueltos conjuntamente considerando condiciones actuales de los CEDIS con el fin de satisfacer las necesidades de los clientes y la rentabilidad de la operación de almacén.

**RECEIVED: AUGUST, 2019**  
**REVISED: DECEMBER, 2019**

## REFERENCIAS

- [1] ALVERCA, T. G., and VALAREZCO, C. L. (2012): Aplicación de redes de Petri en el dominio. **Revista Universidad y Sociedad versión**, 8, 219-226. On-line ISSN 2218-3620.
- [2] BOZER, Y. A., and KILER, J. W. (2008): Order batching in walk-and-pick order picking systems. **International Journal of Production Research**, 46, 1887-1909.
- [3] BRUMITT, B. L. and STENTZ, A (1996): Dynamic mission planning for multiple mobile robots. **Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation**. I, 1564-1571
- [1] CARON, F. and PEREGO, A. (2000): Layaout design in manual picking systems: a simulation approach. **Integr Manuf Syst**. 11, 94-100.
- [2] CLARKE, G., and WRIGHT, W. (1964): Scheduling of vehicles from a central depot to number of delivery points. **Operations Research**, 12, 568-581.
- [3] CORREA SALAZAR, C., and MONTOYA RENGIFO, J. (2011): **Propuesta de mejoramiento del sistema de order picking en el área de unidades sueltas de un CEDIS**. Universidad ICESI Departamento de ingeniería industrial.
- [4] DE KOSTER, R., LE-DUC, T., and ROODBERGEN, K. (2006): Design and control of warehouse order pick-ing. **Erasmus Research Institute of Management**. I, 481-501
- [5] FLORES G., M. J., CARRASCO O., A., and FCO, M. T. (2012): **Búsqueda de patrones interesantes en un solo grafo utilizando correspondencia inexacta**. Coordinación de Ciencias Computacionales. Tonantzintla, Puebla.
- [6] GOREINSTEIN, S. (1970): Printing press scheduling for multi- edition periodicals. **Management Science**. 16 , B373-B383.
- [7] GRUPO DE COMPUTACIÓN EVOLUTIVA CINVESTAV-IPN. (2006): Computación evolutiva y algunas de sus aplicaciones en Economía y Finanzas. **Revista para métodos cuantitativos para la economía y la empresa**. 2, 13-20
- [8] HENN S., KOCH S., and WASCHER G. (2011): **Order Batching in Order Picking Warehouses: a Survey of Solution Approaches** 1, 12-25.

- [9] HENN, S., and SCHMID, V. (2013): Metaheuristics for Order Batching and Sequencing in Manual Order Picking Systems. **Computer and Industrial Engineering**, 2, 338–35.
- [10] SVESTKA, J.A.; HUCKFELT, V.E. (1973): Computacional experience with an m-salesman traveling salesman algorithm. **Management Science**, 19, 174-179.
- [11] KARA, T., and BEKTAS. (2006): Integer linear programming formulations of multiple salesman problem and its variations. **European Journal: Operational Research**, 174, 1449-1458.
- [12] KIRBY, C and BROSAN. (2011): **La logística como factor de Competitividad de las Américas. Presentado en el V Foro de Competitividad de las Américas**. Santo Domingo, República Dominicana. Volumen 1.
- [13] KOSTER, R., LE-DUC, T., and ROODBERGEN, K. (2006): **Design and control of warehouse order picking**. RSM Erasmus University.
- [14] LAW, A. M., and KELTON, W. D. (2000): Simulation modeling and analysis. Higher Education. **Industrial Engineering Series**, 1, 133-200.
- [15] ÁREAS DE NEGOCIOS.MODELO DE OPERACIÓN PL (2019): (<http://serraltalogistica.com/4pl.html>. Consultado en diciembre 2019.
- [16] MERKURYE, Y, BURINSKIENE, A., and MERKURYEVA, G. (2009): **Proceso de preparación de pedidos de Almacén. Estudios de casos basados en simulación logística**. Springer, Londres.
- [17] MERKURYEV, Y., MERKURVEVA RIGA, G., and BURINSKIENE, A. (2009): **Simulation-Based Case Studies in Logistics**. Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania Aurelija, Springer, Berlin.
- [18] PANSARTA, L., CATUSSE, N., and CAMBAZARDA, H. (2018): Exact algorithms for the order picking problem. **University Grenoble Alpes**, 1, 10-13
- [19] ANGEL, R. D., CAUDLE, W. L., NOONAN, R and WHINSTON, A. (1972): Computer assisted school bus scheduling. **Management Science**, 18, B279-B288.
- [20] RATILIFF, H., and ROSENTHAL, A. (1983): Order-picking in a rectangular warehouse. **Operations Research**, 31, 507-521.
- [21] SALEH, H., and CHELOUAH, R. (2004): The design of the global navigation satellite system surveying networks using genetic algorithms. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, 17, 111-122.
- [22] SCHOLZ, A., and WASCHER, G. (2015): **A Solution Approach for the Joint Order Batching and Picker Routing Problem in a Two-Block Layout**. Working Paper Series, 4,1-30.
- [23] SCHOLZ, A., HENN, S., STUHLMANN, M., and WASCHER, G. (2016): A new mathematical programming formulation for the single-picker routing problem. **European Journal of Operational Research**, 253, 68-84.
- [24] TAHA, H. A. (2004): **Investigación de Operaciones 7a**. Edición. PEARSON EDUCACIÓN, Mexico.
- [25] TORO OCAMPO, E., BOLAÑOS, R., and GRANADA ECHEVERRI, M. (2014): **Solución del problema de múltiples agentes viajeros resuelto mediante técnicas heurísticas**. Universidad Tecnológica de Pereira, Risaralda, X, 2.
- [26] WÄSCHER, G., DYCKHOFF, H., LACKES, R., and REESE, J. (2004): **Order Picking: A Survey of Planning Problems and Methods**. **Supply Chain Management and Reverse Logistics**, Springer, Berlin.
- [27] YU, Z., JINHAI, G., GUOCHANG, Z., and HAIYAN, Y. (2002): An implementation of evolutionary computation for path planning of cooperative mobile robots. **Proceedings of the fourth world congress on intelligent control and automation**, 1978-1802.