

# Simulation of a Manual Order Picking System in a Convenience Store Chain Distribution Center

Marcos Moya Navarro, PhD  
Universidad Latina de Costa Rica, Costa Rica, marcos.moya@ulatina.net

*Abstract– The manual order picking system is a common process in warehouses that fill orders and refers to the collection of items and / or materials requested by customers. It is a fundamental task that affects the total operating costs of a supply chain, so it must be performed efficiently to ensure that the needs of the customers are met. The following work presents a case study in a manual order picking system to supply a chain of sixteen convenience stores, in which the orders of around twenty products are ready for dispatching to stores every day. The objective of the study is to determine the number of order pickers needed to ensure that delivery of all orders to stores is met, and that the expected time to have an order ready for dispatching to the customer is three hours maximum. In order to accomplish this objective, a FlexSim discrete event simulation model was developed. Simulation modeling has proven to be a powerful tool to size the amount of human resources needed to comply with the customer service policies established by companies.*

*Simulation results indicate that with the current number of order pickers, a 91.5% service level has been provided by the distribution center, in terms of the number of dispatched orders to the convenience stores daily. Moreover, a total of 16 order pickers are required to have an order ready for dispatching in a period of three hours maximum.*

*Keywords-- Supply Chain, Inventories, Optimization, Simulation.*

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.237>  
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

# Simulación de un Sistema Manual de Preparación de Pedidos en un Centro de Distribución de Una Cadena de Tiendas de Conveniencia

Marcos Moya Navarro, PhD  
Universidad Latina de Costa Rica, Costa Rica, marcos.moya@ulatina.net

*Resumen El sistema de preparación manual de pedidos es un proceso común en los almacenes que surten pedidos, y se refiere a la recolección de artículos y/o materiales solicitados por los clientes. Es una tarea fundamental que afecta los costos totales de operación de una cadena de suministros, por lo que se debe realizar eficientemente para asegurarse de que se satisfacen las necesidades de los clientes. El siguiente trabajo presenta un caso de estudio en un almacén de preparación manual de pedidos para surtir a una cadena de dieciséis tiendas de conveniencia, en la cual se alistan todos los días los pedidos de alrededor de veinte productos para su despacho a las tiendas. El objetivo del estudio consiste en determinar el número de recolectores de pedidos necesarios en un sistema manual de preparación de pedidos para garantizar que se cumpla la entrega de todos los pedidos a las tiendas, y que el tiempo esperado para tener una orden de pedido lista para su despacho al cliente sea de tres horas como máximo. Para cumplir con estos objetivos se desarrolló un modelo de simulación de eventos discretos utilizando el simulador FlexSim. El modelado de simulación ha demostrado ser una herramienta poderosa para dimensionar la cantidad de recurso humano necesario para cumplir con las políticas de servicio al cliente establecidas por las empresas. Los resultados de la simulación indican que, con el número actual de recolectores de pedidos, el centro de distribución ha proporcionado un nivel de servicio del 91.5%, en términos del número de pedidos enviados a las tiendas de conveniencia diariamente. Además, se requiere un total de 16 preparadores de pedidos para tener una orden lista para su envío en un periodo máximo de tres horas.*

*Palabras Clave— Cadena de Suministros, Inventarios, Optimización, Simulación.*

*Abstract— The manual order picking system is a common process in warehouses that fill orders and refers to the collection of items and / or materials requested by customers. It is a fundamental task that affects the total operating costs of a supply chain, so it must be performed efficiently to ensure that the needs of the customers are met. The following work presents a case study in a manual order picking system to supply a chain of sixteen convenience stores, in which the orders of around twenty products are ready for dispatching to stores every day. The objective of the study is to determine the number of order pickers needed to ensure that delivery of all orders to stores is met, and that the expected time to have an order ready for dispatching to the customer is three hours maximum. In order to accomplish this objective, a FlexSim discrete event simulation model was developed. Simulation modeling has proven to be a powerful tool to size the amount of human resources needed to comply with the customer service*

*policies established by companies.*

*Simulation results indicate that with the current number of order pickers, a 91.5% service level has been provided by the distribution center, in terms of the number of dispatched orders to the convenience stores daily. Moreover, a total of 16 order pickers are required to have an order ready for dispatching in a period of three hours maximum.*

*Keywords-- Supply Chain, Inventories, Optimization, Simulation.*

## I. INTRODUCCIÓN

Ref. [1] indica que un sistema de preparación de pedidos es otro tipo de sistema de gestión de almacén o sistema de almacenamiento que ayuda a facilitar el proceso de preparación de pedidos, el cual se puede hacer de forma manual o automática. El autor indica que “manual” se refiere a la contratación de preparadores de pedidos que recogerán manualmente los pedidos del cliente de un contenedor a otro, mientras que los sistemas automatizados de preparación de pedidos se refieren a sistemas que permiten que el proceso se realice incluso sin que los trabajadores se muevan de un lugar a otro para completar los pedidos.

Optimizar el sistema manual de preparación de pedidos en una cadena de tiendas de conveniencia, con el objetivo de cumplir diariamente con la entrega de los pedidos, no es una tarea fácil de llevar a cabo dado el conjunto de restricciones a las que se ven sometidos los almacenes de preparación de pedidos. La cantidad de personas disponibles para cumplir con el alisto de los pedidos diarios de todas las tiendas de la cadena, y el periodo de tiempo establecido en el que tienen que estar listos los pedidos para cumplir con la logística de distribución hacen que el problema sea complejo de resolver.

Ref. [2] indica que las empresas han estado tratando continuamente de reducir sus costos logísticos en los mercados competitivos actuales, y enfatizan que los almacenes son componentes importantes de los sistemas logísticos y atraen la atención de acuerdo con los esfuerzos de reducción de costos. También indican que la gestión de almacenes es cada vez más crítica, ya que el almacenamiento y la distribución de los artículos pedidos a los clientes es un

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.237>  
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

proceso costoso para las empresas, y este proceso afecta directamente al nivel de servicio al cliente. Adicionalmente, los autores revelan los desarrollos recientes y las tendencias particulares para el problema de procesamiento por lotes de pedidos y presenta futuras direcciones de investigación basadas en hallazgos clave.

Ref. [3] indica que el diseño de almacenes de preparación manual de pedidos es una combinación de decisiones interdependientes con enormes variedades posibles en componentes de diseño. Los autores establecen que la fuerte interrelación entre estos componentes, además de la naturaleza estocástica dinámica e interconectada del problema; requieren la utilización de un enfoque simultáneo basado en simulación. Adicionalmente, los autores proponen en este estudio un enfoque concurrente de diseño basado en simulación de experimentos para el diseño de almacenes de preparación manual de pedidos. El enfoque propuesto puede investigar todas las combinaciones posibles de diseño de almacenamiento con su naturaleza e interacciones estocásticas. El análisis estadístico de los resultados de la simulación mostró que el diseño horizontal era preferible a todos los otros tipos de diseños y los almacenes de pequeño tamaño funcionan mejor que otros tamaños grandes.

Ref. [4] indica que los problemas de enrutamiento de pedidos y enrutamiento de los recolectores surgen en los almacenes cuando los artículos especificados por los pedidos de los clientes deben recuperarse de sus ubicaciones de almacenamiento. Los autores establecen que el problema de procesamiento por lotes de pedidos incluye la agrupación de un conjunto determinado de pedidos de clientes en órdenes de selección factibles de manera que se minimice la duración total de todos los recorridos de selección. Los autores indican además que en los diseños de almacén de un solo bloque los recorridos de los recolectores correspondientes son muy sencillos y los recolectores de pedidos pueden memorizarlos fácilmente. Sin embargo, indican, esta ventaja disminuye cuando hay que lidiar con diseños de bloques múltiples más complejos. Por medio de experimentos numéricos los autores demuestran que se debe prestar más atención al problema de enrutamiento del selector, lo que da como resultado una mejora sustancial de la calidad de la solución obtenida, sin aumentar los tiempos de computación.

Ref. [5] indica que la preparación de pedidos es un proceso logístico costoso y que requiere mucho tiempo, ya que implica una gran cantidad de trabajo humano manual. Indican además que las operaciones de preparación de pedidos son repetitivas por naturaleza, por lo que se puede observar que los trabajadores humanos se familiarizan con el trabajo con el tiempo, lo que implica que se lleva a cabo el aprendizaje que puede ser una fuente importante de mejoras en la eficiencia de las empresas. Los autores propusieron un modelo analítico para describir el aprendizaje en la selección de pedidos. Los resultados del análisis numérico del estudio propuesto

concluyen que es beneficioso asignar a los trabajadores con la tasa de aprendizaje más baja en la fuerza laboral a la zona de movimiento más rápido para ganar experiencia.

Ref. [6] desarrolló un modelo metaheurístico de Búsqueda Tabú para configurar rutas de acomodo, que se modelan como un problema del tipo TSP (Traveling Salesman Problem), con el fin de obtener un conjunto de secuencias de m posiciones de almacenamiento  $j$  para ubicar  $n$  productos  $i$ , en el menor tiempo posible.

El metaheurístico de Búsqueda Tabú implementado en la operación de acomodo en la empresa de alimentos en la ciudad de Medellín, permite la reducción del tiempo y costos del 7 %, lo que equivale a un ahorro en tiempo de 383 min/mes y 750.00 \$/mes respecto a la estrategia PLPC (Posición más Lejana, Posición más Cercana), lo cual, permite incrementar la eficiencia de la operación y el CEDI.

Ref. [7] indica que los modelos de simulación han probado ser una herramienta muy útil para el estudio de problemas de la vida real, y presenta un modelo de simulación de un sistema de preparación de pedidos basado en agentes. Un almacén farmacéutico se utiliza como estudio de caso con el fin de mejorar los procesos de picking implementados. Los autores indican que las actividades de almacenamiento afectan los costos logísticos totales de una empresa o cadena de suministro. También establecen que la optimización de las operaciones de picking requeridas es uno de los objetivos más importantes cuando se intenta reducir los costos operativos. Los resultados de la simulación sugieren que dimensionar los recursos humanos es un medio para satisfacer el nivel deseable de servicio al cliente.

Ref. [8] propone un modelo para determinar cómo se debe combinar un conjunto dado de pedidos de clientes de modo que se minimice la duración total de todos los recorridos, que son necesarios para recolectar todos los artículos. Los autores introducen dos enfoques metaheurísticos para la solución de este problema; el primero se basa en la búsqueda local iterada, el segundo en la optimización de colonias de hormigas. Los autores indican que, en una serie de experimentos numéricos extensos, los enfoques desarrollados se comparan con los métodos de solución clásicos. Adicionalmente, los autores establecen que los métodos propuestos no solo son superiores a los métodos existentes, sino que proporcionan soluciones que pueden permitir la operación de almacenes de distribución significativamente más eficientes.

Ref. [9] indica que una planificación del enrutamiento adecuada puede minimizar el costo total de preparación de pedidos y alcanzar el objetivo de mejora del rendimiento de preparación en el tiempo unitario. Los autores consideran factores tales como la cantidad y el tipo de disposición de pasillos en un sistema de almacén, política de asignación de almacenamiento, ruta de preparación (picking), densidad de preparación (picking) promedio dentro de un pasillo, entre

otros, como factores que afectan el rendimiento del sistema de preparación de pedidos.

Ref. [10] desarrolló una heurística para el procesamiento por lotes y la asignación de pedidos de clientes para ser recogidos en un almacén de preparación de pedidos manual, donde el tiempo debido es de importancia significativa. La heurística presenta una forma de establecer la prioridad de las órdenes para evitar la mezcla de órdenes de diferentes niveles de prioridad durante el procesamiento por lotes. Los autores indican que utilizaron un criterio simple basado en la ubicación para formar lotes de pedidos, en el cual según la cantidad de lotes para procesar y el tiempo asignado, la heurística determina la cantidad de recolectores necesarios para procesar y la asignación a los recolectores de manera que haya una distribución uniforme de la carga de trabajo entre los recolectores. El objetivo de la investigación fue tratar explícitamente los problemas de fechas de vencimiento de pedidos en el almacén de preparación manual de pedidos, ya que se descubrió que el trabajo previo en este campo era escaso

Ref. [11] indica que Ankor es un mayorista de herramientas y equipos de jardinería. Su almacén está bajo presión continua para mejorar su eficiencia mientras se enfrenta a varios requisitos específicos en su preparación de pedidos, como el requisito de recuperar productos pesados primero para evitar daños a otros productos frágiles. Los autores establecen que el objetivo de la investigación era determinar una buena combinación de políticas para la asignación de almacenamiento (asignación de productos a ubicaciones de almacenamiento) y enrutamiento (determinación de la secuencia en la que recuperar los productos del almacenamiento para satisfacer la demanda del cliente) para la situación de Ankor. Los resultados de la investigación mostraron que hubo una reducción de más del 25% en el número de preparadores de pedidos.

Ref. [12] indica que examinaron el efecto de tres decisiones de proceso (selección, almacenamiento y enrutamiento) en el viaje del preparador de pedidos, que es un componente de costo importante para el cumplimiento del pedido. Los autores utilizan un modelo de simulación basado en las operaciones de un centro de distribución que actualmente está seleccionando un pedido a la vez, almacenando el producto de manera aleatoria y utilizando un procedimiento simplista para enrutar los recolectores. Adicionalmente, los autores evalúan varias políticas de selección, almacenamiento y enrutamiento para determinar qué decisión del proceso proporciona el mayor porcentaje de ahorro en relación con las políticas de referencia actual, y realizan varios análisis de sensibilidad para examinar el efecto del tamaño del pedido, la forma del almacén, la ubicación del punto de recogida / entrega y la distribución de la demanda en el rendimiento. Los resultados muestran que el procesamiento por lotes de pedidos produce el mayor ahorro, particularmente

cuando los tamaños de pedidos más pequeños son comunes. Los resultados también muestran que el uso de una política de almacenamiento basada en la clase o en el volumen proporciona casi el mismo nivel de ahorro que el procesamiento por lotes, a la vez que es menos sensible al tamaño promedio de la orden.

#### A. *Optimización de un Sistema Manual de Preparación de Pedidos Mediante Simulación*

El objetivo de este trabajo consiste en determinar el número de recolectores de pedidos requeridos por el centro de distribución de una cadena de tiendas de conveniencia, el cual está configurado como un sistema manual de preparación de pedidos, para garantizar la entrega de todos los pedidos diarios de las tiendas, y además que los pedidos a entregar estén listos para su despacho en un tiempo esperado de tres horas como máximo para cumplir con la logística de entrega de los productos a las tiendas de la cadena.

Se utilizó la simulación de eventos discretos como herramienta para dimensionar la fuerza de trabajo necesaria que permita cumplir con las restricciones impuestas por el centro de distribución, para prestar un nivel de servicio adecuado, de acuerdo con los requerimientos de la cadena.

Ref. [13] indica que el estudio de las operaciones de almacenamiento utilizando la simulación por computadora se considera un enfoque eficaz y potente para mejorar el rendimiento o diseñar un almacén más eficiente. Los autores además indican que la creación de un buen modelo de simulación para las operaciones de almacenamiento no es trivial, y por lo general, es un proceso que requiere tiempo y es un proceso intensivo en conocimientos de dominio, simulación e implementación.

El proceso de optimización comienza a partir del ingreso diario al centro de distribución (CEDI) de un conjunto de ordenes de pedido para reposición de los inventarios de los productos vendidos por las tiendas de conveniencia. Los parámetros de entrada del modelo de simulación incluyen una lista de productos con sus respectivas cantidades de inventario a reponer por cada orden de pedido, un número de preparadores (pickers) disponibles para la preparación de los pedidos, y un número de montacargas disponibles para mover los pedidos al área de almacenamiento donde deben esperar para ser transportados a las tiendas.

#### B. *Procedimiento de Preparación de Pedidos En El Centro de Distribución*

La Fig. 1 resume el procedimiento que se lleva a cabo para la preparación de los pedidos que se enviarán a las tiendas de conveniencia. El proceso comienza con la recepción de los pedidos que deben de surtirse cada día a cada

una de las tiendas. En esta etapa del proceso, se verifica la información de los pedidos en cuanto a código de productos, cantidades a enviar de cada tipo de producto, y disponibilidad de productos en el centro de distribución. Luego, se envía una tarima al sitio destinado para la tienda respectiva, en donde se colocarán los productos del pedido. Cada una de las tiendas tiene un sitio asignado de preparación de pedidos dentro del centro de distribución. Una vez colocada la tarima en el sitio asignado, comienza el proceso manual de recolección de los productos que conforman el pedido, de acuerdo con la lista y cantidades solicitadas por la tienda. Concluido el proceso de recolección, se verifican las cantidades y se prepara el pedido para su envío al área de almacenamiento temporal asignada a la tienda. El pedido permanece en esa área de almacenamiento temporal hasta su envío a la tienda respectiva.

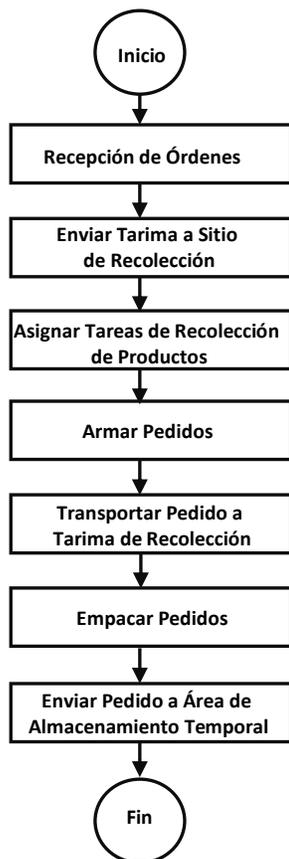


Fig. 1 Procedimiento de Preparación de Pedidos en el Centro de Distribución de la Cadena de Tiendas de Conveniencia

## II. DEFINICIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

El presente trabajo se desarrolló tomando como base un centro de distribución, ubicado en la provincia de San José, Costa Rica. El centro de distribución recibe los pedidos de dieciséis tiendas de conveniencia que permanecen abiertas 24 horas al día los siete días de la semana. En este centro se preparan y se envían los pedidos a las tiendas para reponer el inventario de productos vendidos. Las tiendas están situadas

en las provincias de Alajuela, Cartago, Heredia y San José. Se selecciono una lista de veinte productos para el estudio.

La base de datos de demanda, que contiene más de treinta y ocho mil registros, indica que el tamaño de los pedidos diarios que realizan las tiendas para cada uno de los productos presenta una variabilidad significativa de un día a otro. La Tabla I resume la lista de los productos seleccionados para el estudio y las demandas diarias mínima y máxima para cada producto en todas las tiendas.

TABLA I  
PRODUCTOS SELECCIONADOS

Producto	Demanda Diaria	
	Mínima	Máxima
Analgésico Extra-Fuerte 16 Tabletas	0	14
Atún Trozos en Aceite 140g	0	24
Atún en Aceite Con Vegetales 140g	0	15
Avena Integral 400g	0	9
Bebida Melocotón 458 ml	0	4
Cabernet Sauvignon Reserva 375 ml	3	68
Café Puro Selecto 125g	0	18
Chile Jalapeño Trocitos 156 g	0	7
Consomé de Res 4 U	0	7
Cerveza 330M 6 Pack	2	33
Cerveza 355 ml	0	60
Desodorante 150 ml	0	9
Doritos Spicy Sweet 92g	0	9
Galleta de Avena Pasas 48 g	0	11
Guaro 1000 ml	1	24
Mokaccino 6 U 160 g	0	9
Papel Higiénico 4 U	1	74
Polvo Efervescente 12 U Regular	0	19
Ron Oro 200 ml	0	19
Toalla Facial K Original 4 Pack	0	11

La Fig.2 muestra el esquema del proceso de preparación de los pedidos en el centro de distribución.

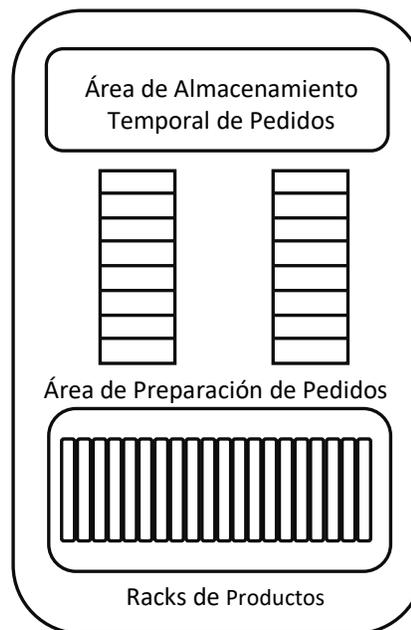


Fig. 2 Esquema de Preparación de Pedidos en el Centro de Distribución

El centro de distribución dispone de tres diferentes áreas de almacenamiento. La primera es el área de racks de productos para reposición de inventarios de las tiendas. La segunda es el área para colocar los pedidos diarios de cada tienda. La tercera es el área de almacenamiento temporal de pedidos listos para despacho. Adicionalmente, se dispone de dos montacargas, y de nueve recolectores de productos (pickers).

### III. METODOLOGIA DE SIMULACIÓN PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA DE PREPARACION DE PEDIDOS

La Fig. 3 resume la metodología de simulación.

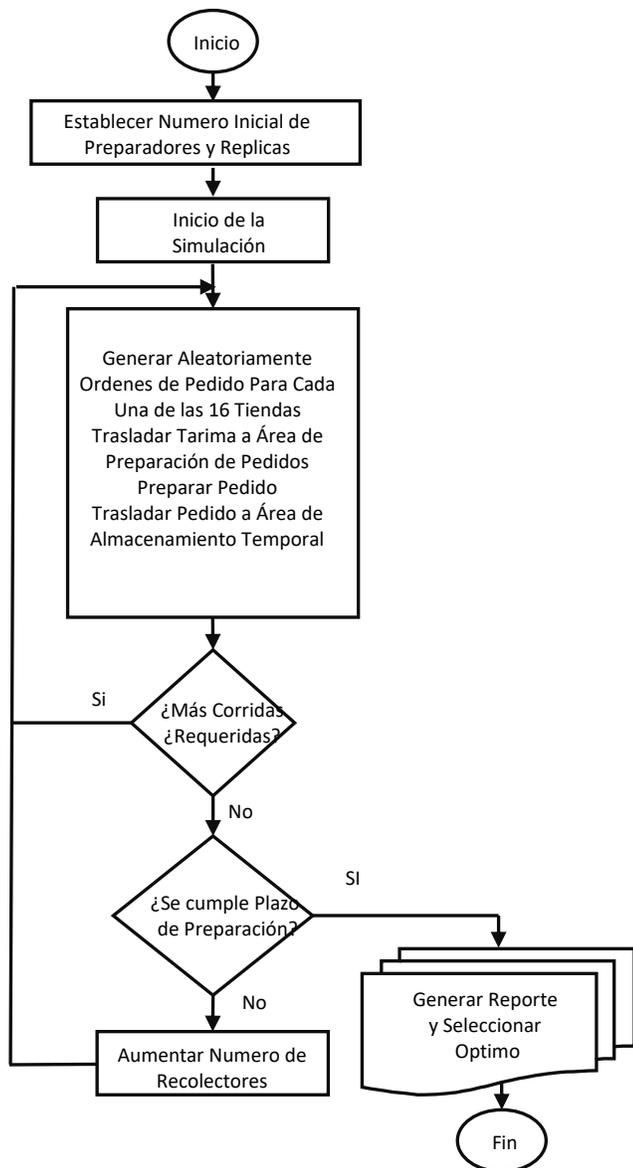


Fig. 3 Metodología de Simulación

Para la especificación de los patrones de probabilidad de los tamaños de los pedidos diarios que las tiendas emiten se puede realizar una prueba de bondad de ajuste a partir de los datos históricos de los pedidos despachados desde el centro de distribución o bien utilizar una distribución de probabilidad triangular o una distribución de probabilidad uniforme, según se indica en la Ref. [14], tomando como base los valores mínimos, más probables y máximos de los tamaños de los pedidos en el caso de la distribución triangular, o un valor mínimo y un valor máximo para el caso de la distribución uniforme.

Dada la variabilidad significativa de los tamaños de los pedidos entre tiendas y entre los productos se seleccionó la distribución uniforme para especificar el tamaño de los pedidos. La tabla II resume los patrones de probabilidad utilizados para generar el tamaño de los pedidos diarios a despachar de cada tipo de producto.

TABLA II  
DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DEL TAMAÑO DE LOS PEDIDOS

Producto	distribución
Analgésico Extra-Fuerte 16 Tabletas	Uniforme (0,14)
Atún Trozos en Aceite 140g	Uniforme (0,24)
Atún en Aceite Con Vegetales 140g	Uniforme (0,15)
Avena Integral 400g	Uniforme (0,9)
Bebida Melocotón 458 ml	Uniforme (0,4)
Cabernet Sauvignon Reserva 375 ml	Uniforme (0,68)
Café Puro Selecto 125g	Uniforme (0,18)
Chile Jalapeño Trocitos 156 g	Uniforme (0,7)
Consomé de Res 4 U	Uniforme (0,7)
Cerveza 330M 6 Pack	Uniforme (0,33)
Cerveza 355 ml	Uniforme (0,60)
Desodorante 150 ml	Uniforme (0,9)
Doritos Spicy Sweet 92g	Uniforme (0,9)
Galleta de Avena Pasas 48 g	Uniforme (0,11)
Guaro 1000 ml	Uniforme (0,24)
Mokaccino 6 U 160 g	Uniforme (0,9)
Papel Higiénico 4 U	Uniforme (0,74)
Polvo Efervescente 12 U Regular	Uniforme (0,19)
Ron Oro 200 ml	Uniforme (0,19)
Toalla Facial K Original 4 Pack	Uniforme (0,11)

El tiempo de embalado de los pedidos para su envío al área de almacenamiento temporal se estima mediante una distribución triangular con tiempo mínimo de tres minutos, un tiempo más probable de cuatro minutos y un tiempo máximo de cinco minutos por pedido.

### IV. MODELO DE SIMULACION

#### A. Construcción del Modelo

Ref. [15] indica que la palabra simulación, en su concepto actual, se remonta hacia fines de 1940 cuando Von Neumann y Ulam definieron el término "análisis de Monte Carlo" para aplicarlo a una técnica matemática que usaban al resolver ciertos problemas de protección nuclear que eran demasiado costosos o muy complicados para resolverse

experimentalmente o analíticamente. Los autores indican que en la década de los 90 surgió una nueva generación de software para simulaciones, y en particular en el año 2003 fue lanzado el software FlexSim, el cual resultó ser substancialmente diferente respecto a los simuladores anteriores. El software fue desarrollado por Bill Nordgren, Cliff King, Roger Hullinger, Eamonn Lavery y Anthony Johnson.

Las siguientes son tres razones, por las que el simulador FlexSim fue seleccionado para simular el sistema manual de preparación de pedidos en un centro de distribución de una cadena de tiendas de conveniencia: 1. El programa dispone de una amplia colección de objetos preconstruidos que permite modelar situaciones muy complejas del centro de distribución sin tener que escribir código de software. 2. El software está orientado a objetos, lo que le da una amplia visualización al flujo de los productos en la cadena de suministro. 3. El modelado del centro de distribución se desarrolla en un ambiente de tres dimensiones.

El modelo de simulación desarrollado incluye los siguientes elementos: órdenes de pedido, recolectores de pedidos, lista de productos almacenados en racks para surtir los pedidos, tarimas para colocación de los productos recolectados, áreas de almacenamiento para los pedidos completados, y un área de almacenamiento temporal para el despacho de los pedidos.

A continuación, se describen los agentes utilizados en el modelo de simulación de eventos discretos desarrollado.

### 1) Ordenes de Pedido

Las órdenes diarias programadas para entrega, *una por cada tienda de conveniencia*, arriban al centro de distribución con una composición y un número de productos aleatorio, siguiendo los patrones de probabilidad especificados en la tabla II. Cada tienda dispone de un lugar asignado en el centro de distribución para la preparación de las ordenes de pedido.

### 2) Recolectores de Pedidos

El recolector de pedidos es el agente encargado de reunir los productos especificados en las ordenes de pedido. El tiempo de recolección de cada uno de los pedidos dependerá de la cantidad de productos en la orden y la cantidad de unidades de inventario en cada pedido. El modelo de simulación evalúa un máximo de veinticinco recolectores de pedidos.

### 3. Despachadores

El despachador es el agente en el modelo de simulación encargado de administrar la cantidad de recolectores de pedidos disponibles, el número de montacargas asignados para

el movimiento de las tarimas a las áreas de recolección de pedidos y el número de montacargas disponibles para el traslado de los pedidos procesados al área de almacenamiento temporal.

El usuario final del modelo de simulación tiene que especificar, de previo a la corrida del modelo, el número de escenarios a evaluar en términos del número de agentes recolectores de pedidos utilizados, así como los rangos de variación de la demanda de los productos que componen la orden de pedidos. La interface del software corre de manera dinámica todos los escenarios especificados, y produce los siguientes resultados para cada uno de los escenarios evaluados:

- ✓ Gráfico de número de tiendas a las que se le completo la orden de pedido, por cada escenario evaluado.
- ✓ Intervalos de confianza de 95% del número total de tiendas a las que se le completo la orden de pedido.
- ✓ Intervalo de Confianza de 95% del tiempo requerido para completar un pedido, por cada escenario evaluado.
- ✓ Gráfico de cajas del tiempo requerido para completar un pedido, por cada escenario evaluado.

### B. Número de Réplicas

Con base en una corrida preliminar de diez replicas, se determinó que se deben realizar un total de cincuenta corridas del simulador para alcanzar un nivel de confianza de 95% y un error máximo de estimación de tres minutos en el tiempo promedio que una orden de pedido tarda para ser preparada y estar lista para su despacho al cliente.

## IV. RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados de la simulación que se muestran en la Fig. 4, indican que para cumplir con la entrega de las órdenes de pedido diarias de las 16 tiendas de conveniencia de la cadena se requiere tener operando una cantidad mínima de 11 recolectores de pedido. El eje "X" de la Fig. 4 muestra los escenarios posibles estudiados. El escenario S1 indica que el centro de distribución (CD) opera con un único operario. El escenario S2 indica que el CD opera con dos operarios, y así sucesivamente. El eje "Y" muestra el número de tiendas a las que se les completaron los pedidos.

El escenario S10 indica que el CD está operando con 10 recolectores de pedido. Los resultados del modelo de simulación mostrados en la Fig. 4 establecen que para este escenario hay dos posibles resultados. El primer resultado indica que una porción de las veces se completan los pedidos

de 15 tiendas de conveniencia y el segundo resultado indica que otra porción de las veces se completan los pedidos de las 16 tiendas incluidas en el modelo. A partir del escenario S11 es que se completan siempre los pedidos de las 16 tiendas de conveniencia.

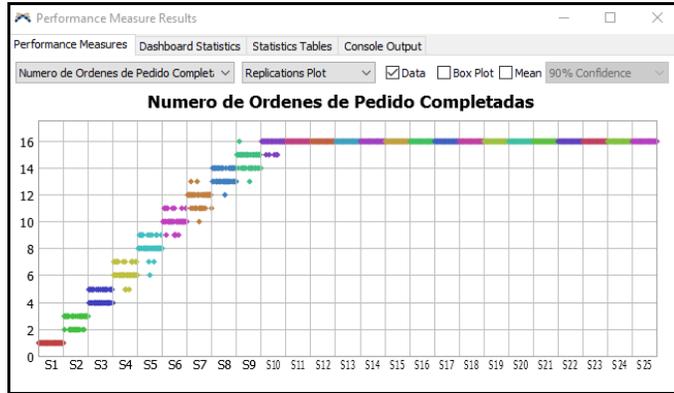


Fig. 4 Número Mínimo de Recolectores de Pedido Requeridos Para Surtir las dieciséis Tiendas de Conveniencia.

La Tabla III indica con 95% de confianza, que hay evidencia suficiente para creer que, manteniendo el número actual de 9 recolectores de pedidos, el centro de distribución está en capacidad de atender, en promedio 14.64 órdenes de pedido por día, proporcionando un nivel de servicio al cliente del 91.5%. Los resultados de la simulación también evidencian que el número mínimo de órdenes de pedido atendidas por día es de 13, lo cual equivale a la misma cantidad mínima de tiendas atendidas debido a que se emite solo una orden de pedido por tienda.

La Fig. 5 muestra de manera gráfica el impacto del tiempo de preparación de los pedidos en relación con el número de recolectores de pedidos disponibles. Se observa claramente que a medida que se aumenta el número de recolectores de pedidos, se disminuye significativamente el tiempo necesario para completar las ordenes de pedido.

La Tabla IV indica, con 95% de confianza, que el tiempo máximo requerido para completar una orden de pedido es de 15633 segundos con el número de recolectores de pedidos actual de 9. Este resultado equivale a un tiempo máximo para completar una orden de pedido 4.3525 horas. Considerando que la meta del centro de distribución es completar un pedido en un máximo de tres horas, 9 recolectores de pedido es una cantidad de recursos insuficiente. Consecuentemente, la Tabla IV especifica que, para tener las órdenes de pedido listas para entrega a las tiendas en un plazo máximo esperado de tres horas, se requiere tener una cuadrilla de 16 preparadores de pedido operando diariamente. Se estima que esto sea así con una confianza del 95%.

TABLA III  
INTERVALOS DE CONFIANZA DEL NÚMERO DE ORDENES DIARIAS COMPLETADAS

Numero de Ordenes de Pedido Completadas					
Scenario	Mean (95% Confidence)	Sample Std Dev	Min	Max	
Scenario 1	N/A < 1.000 < N/A	0.000	1.000	1.000	
Scenario 2	2.501 < 2.640 < 2.779	0.485	2.000	3.000	
Scenario 3	4.278 < 4.420 < 4.562	0.499	4.000	5.000	
Scenario 4	6.047 < 6.200 < 6.353	0.535	5.000	7.000	
Scenario 5	7.993 < 8.160 < 8.327	0.584	6.000	9.000	
Scenario 6	9.903 < 10.060 < 10.217	0.550	9.000	11.000	
Scenario 7	11.579 < 11.740 < 11.901	0.565	10.000	13.000	
Scenario 8	13.247 < 13.400 < 13.553	0.535	12.000	14.000	
Scenario 9	14.479 < 14.640 < 14.801	0.563	13.000	16.000	
Scenario 10	15.813 < 15.900 < 15.987	0.303	15.000	16.000	
Scenario 11	N/A < 16.000 < N/A	0.000	16.000	16.000	
Scenario 12	N/A < 16.000 < N/A	0.000	16.000	16.000	
Scenario 13	N/A < 16.000 < N/A	0.000	16.000	16.000	
Scenario 14	N/A < 16.000 < N/A	0.000	16.000	16.000	
Scenario 15	N/A < 16.000 < N/A	0.000	16.000	16.000	
Scenario 16	N/A < 16.000 < N/A	0.000	16.000	16.000	
Scenario 17	N/A < 16.000 < N/A	0.000	16.000	16.000	
Scenario 18	N/A < 16.000 < N/A	0.000	16.000	16.000	
Scenario 19	N/A < 16.000 < N/A	0.000	16.000	16.000	
Scenario 20	N/A < 16.000 < N/A	0.000	16.000	16.000	
Scenario 21	N/A < 16.000 < N/A	0.000	16.000	16.000	
Scenario 22	N/A < 16.000 < N/A	0.000	16.000	16.000	
Scenario 23	N/A < 16.000 < N/A	0.000	16.000	16.000	
Scenario 24	N/A < 16.000 < N/A	0.000	16.000	16.000	
Scenario 25	N/A < 16.000 < N/A	0.000	16.000	16.000	

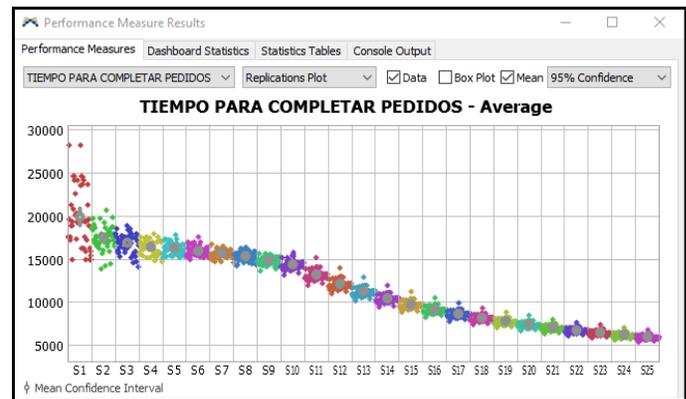


Fig. 5 Variación del Tiempo de Completado de las Ordenes de Pedidos en Función del Número de Recolectores de Pedidos

## CONCLUSIONES

Este trabajo presenta un modelo de simulación de preparación manual de pedidos emitidos por una cadena de tiendas de conveniencia, el cual fue construido mediante la plataforma de simulación FlexSim. El modelo desarrollado permitió estimar el nivel de la fuerza de trabajo requerido para llevar a cabo la tarea de armado de los pedidos emitidos diariamente por las tiendas. Dada la cantidad de variables y restricciones impuestas por las cadenas de suministro, la simulación demuestra ser el mecanismo de optimización más apropiado a utilizarse.

TABLA IV  
INTERVALOS DE CONFIANZA DEL TIEMPO TRANSCURRIDO PARA  
COMPLETAR UNA ORDEN DE PEDIDO

TIEMPO PARA COMPLETAR PEDIDOS - Average						
	Mean (95% Confidence)		Sample	Std Dev	Min	Max
Scenario 1	18919	< 19893 < 20866	3406	14896	28208	
Scenario 2	17056	< 17446 < 17837	1367	13838	20659	
Scenario 3	16512	< 16830 < 17149	1115	14122	18884	
Scenario 4	16083	< 16322 < 16562	839	14720	17922	
Scenario 5	16010	< 16205 < 16400	682	15203	17847	
Scenario 6	15782	< 15950 < 16118	588	14986	17588	
Scenario 7	15479	< 15613 < 15747	468	14637	16750	
Scenario 8	15180	< 15335 < 15490	542	14256	16337	
Scenario 9	14685	< 14815 < 14945	454	13617	15633	
Scenario 10	14247	< 14399 < 14551	531	13134	15771	
Scenario 11	13024	< 13192 < 13360	588	11961	15180	
Scenario 12	11956	< 12111 < 12265	540	10980	13931	
Scenario 13	11055	< 11197 < 11339	498	10154	12879	
Scenario 14	10281	< 10413 < 10546	463	9444	11980	
Scenario 15	9610	< 9733 < 9857	432	8824	11192	
Scenario 16	9023	< 9138 < 9254	405	8284	10509	
Scenario 17	8505	< 8614 < 8723	381	7811	9902	
Scenario 18	8044	< 8147 < 8250	360	7395	9366	
Scenario 19	7633	< 7731 < 7828	341	7017	8884	
Scenario 20	7263	< 7356 < 7449	325	6671	8452	
Scenario 21	6929	< 7017 < 7105	308	6372	8059	
Scenario 22	6624	< 6709 < 6793	295	6086	7705	
Scenario 23	6345	< 6426 < 6506	282	5836	7379	
Scenario 24	6090	< 6168 < 6245	270	5597	7075	
Scenario 25	5857	< 5931 < 6005	260	5386	6809	

Las principales conclusiones obtenidas son las siguientes.

1. Con el número actual de 9 recolectores de pedidos, el centro de distribución está en capacidad de proporcionar un nivel de servicio al cliente del 91.5%.
2. Con el número actual de recolectores de pedido le toma al centro de distribución un máximo de 4.3525 horas para completar un pedido.
3. Se requiere un mínimo de 11 recolectores de pedido para completar los pedidos diarios de todas las tiendas de conveniencia, pero no se cumple el plazo máximo de tres horas para completar un pedido.
4. Se requiere tener una cuadrilla de 16 preparadores de pedido operando diariamente para completar un pedido en un máximo de 3 horas, y cubrir los pedidos diarios de todas las tiendas. Se estima que esto sea así con una confianza del 95%.
5. Una revisión de literatura exhaustiva mostró estudios de casos aplicados a sistemas manuales de preparación de pedidos en centros de distribución de otros tipos de cadenas de suministro, utilizando otras plataformas alternas al simulador FlexSim.

## REFERENCES

- [1] KardexRemstar, Warehouse Management System. Order Picking System Information <https://www.kardex-remstar.com/en/lift-storage-systems/order-picking.html>
- [2] Cergibozan, Ç. Tasan, A. "Order batching operations: an overview of classification, solution techniques, and future research". Journal of Intelligent Manufacturing; London Tomo 30, N.º 1, (Jan 2019): 335-349. <https://search.proquest.com/docview/2170243485/1B39130CAB6A4679PQ/1?accountid=32236>
- [3] Altarazi, S. ; Ammouri, M. Concurrent manual-order-picking warehouse design: a simulation-based design of experiments approach. International Journal of Production Research; London Tomo 56, N.º 23, (Dec 2018): 7103 <https://search.proquest.com/docview/2161876959?accountid=32236>
- [4] Scholz, A; Wäscher, G. "Order Batching and Picker Routing in manual order picking systems: the benefits of integrated routing". Central European Journal of Operations Research: CEJOR; Heidelberg Tomo 25, N.º 2, (Jun 2017): 491-520 <https://search.proquest.com/docview/1886938291/117B30DE37A8441FPQ/10?accountid=32236>
- [5] Grosse, E. Glock, C. "The effect of worker learning on manual order picking processes". International Journal of Production Economics; Amsterdam Tomo 170, (Dec 2015): 882 <https://search.proquest.com/docview/1747608370/4F2CB83943FB4092PQ/22?accountid=32236>
- [6] Espinal, A. Velázquez, E. Montoya, R, "Modelamiento del Ruteo del Acomodo de Tiempo Mínimo en Centros de Distribución (CED) Usando Búsqueda Tabú". Revista Soluciones de Postgrado EIA; Envigado N.º 12, (Jan-Jun 2014): 15-28. <https://search.proquest.com/docview/1616505393/D64A35BAAC1E4837PQ/3?accountid=32236>
- [7] J.P. Jorge. Z. Kokkinogenis and M.A.P Marques, "Simulation of an Order Picking System in a Pharmaceutical Warehouse". 2012. <https://www.semanticscholar.org/paper/Simulation-of-an-Order-Picking-System-in-a-Jorge-Kokkinogenis/f5a1e48c68485a6c545c6c65f8af1b258cb0d35c#paper-header>
- [8] Henn, S. Koch, S; Doerner, K. Strauss, C. Wäscher, G. "Metaheuristics for the Order Batching Problem in Manual Order Picking Systems". IDEAS Working Paper Series from RePEc; St. Louis, 2009. <https://search.proquest.com/docview/1698749259/157F5D1ACC664998PQ/1?accountid=32236>
- [9] Ling-feng, H. Tsai, L. "The optimum design of a warehouse system on order picking efficiency". The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Heidelberg Tomo 28, N.º 5-6, (Mar 2006): 626-637. <https://search.proquest.com/docview/2262518470/D300889FCC4748D7PQ/4?accountid=32236>
- [10] Centeno, M. Sundaram, R. "Considering Due Time In Manual Order Picking Operations". IIE Annual Conference. Proceedings; Norcross (2004): 1-6. <https://search.proquest.com/docview/192456256/4F2CB83943FB4092PQ/21?accountid=32236>
- [11] Dekker, R; M B M de Koster; Roodbergen, K J; H van Kalleveen. "Improving Order-Picking Response Time at Ankor's Warehouse" Interfaces; Linticum Tomo 34, N.º 4, (Jul/Aug 2004): 303-313. <https://search.proquest.com/docview/217108467/E67DB06482B348E5PQ/2?accountid=32236>
- [12] Petersen, C. Aase, G. "A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking". International Journal of Production Economics; Amsterdam Tomo 92, N.º 1, (Nov 8, 2004): 11-19. <https://search.proquest.com/docview/198994548/EDCAD3BC36414365PQ/1?accountid=32236>
- [13] Zhou, M. Setavoraphan, K. Chen, Z. "Conceptual Simulation Modeling of Warehousing Operations". Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference 2005. <https://ieeexplore.ieee.org/document/1574431>

- [14] Moya, M. Estimación del Costo de un Producto Incluyendo La Distribución al Cliente en Condiciones de Incertidumbre. *Innovation in Education and Inclusion: Proceedings of the 16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*, (July 2018).  
<http://www.laccei.org/LACCEI2018-Lima/meta/FP223.html>
- [15] Días, M. Zárate, R. Román, R. “Simulación Flexsim, una Nueva Alternativa para la Ingeniería Hacia la Toma de Decisiones en la Operación de un Sistema de Múltiples Estaciones de Prueba”. *Científica*, Vol. 22, Núm. 2, 2018  
<https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61458109002/html/index.html>