

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

Diseño e implementación de un algoritmo para la optimización de la ocupación de contenedores en un centro de distribución de una empresa comercial

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Logística y Transporte

Presentado por:

Jazmín Alejandra Jaramillo Bermúdez

Pamela Nicole Naranjo Clemente

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2023

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, en especial a mi madre por brindarme su apoyo y amor incondicional en cada etapa de mi vida, cultivando en mí los valores que me guiaron para poder alcanzar cada una de mis metas. A mis gatitos Mino y Marcela que han coloreado mi vida con sus maullidos y ronroneos, siempre presentes en mis noches de estudio y a mi perrito Mauricio por demostrarme su lealtad y amor.

Alejandra Jaramillo Bermúdez

Este trabajo se lo dedico a Dios, que con Su amor me ha impulsado a salir adelante y me ha tomado de Su mano siempre, en especial en los momentos difíciles. A mi familia: mi papá, mi mamá y mi hermana, que siempre han sido mis pilares en todo lo que hago y han sido mi fiel soporte durante toda mi carrera y toda mi vida. A mis abuelitos, que con sus oraciones y su cariño me dieron la seguridad para conseguir mis sueños.

Pamela Naranjo Clemente

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por las bendiciones, fortaleza y amor que recibí durante esta etapa de mi vida. Agradezco a mis docentes quienes tuvieron la paciencia y pasión por inculcar en mí cada uno de sus conocimientos. Agradezco a mis amigos por compartir horas de estudio y momentos de alegría y festejo. Agradezco a mi familia por ser mi pilar fundamental, por enseñarme que con esfuerzo y perseverancia se logran alcanzar los sueños.

Alejandra Jaramillo Bermúdez

Le doy gracias a Dios por ser mi fortaleza en este camino, y a la Virgen María por acompañarme y recordarme que con Dios a mi lado todo es posible. Agradezco a mi familia por darme todo lo necesario para culminar esta meta, no solo lo material si no su compañía y amor. A mi perrito Pachoncito, por ser mi fiel compañero durante todos estos años. A mis amigos, porque fueron quienes hicieron que los momentos difíciles sean más llevaderos y que las risas sean eternas. A mis docentes, quienes no solo me transmitieron sus conocimientos, si no la pasión por lo que hacen.

Pamela Naranjo Clemente

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Alejandra Jaramillo y Pamela Naranjo damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Jazmín Alejandra Jaramillo Bermúdez



Pamela Nicole Naranjo Clemente

EVALUADORES



PhD. Fernando Sandoya S.

TUTOR DEL PROYECTO INTEGRADOR

MSc. Carlos Ronquillo F.

PROFESOR DE LA MATERIA INTEGRADORA

RESUMEN

El proceso de picking de los productos solicitados por los locales de un centro de distribución presenta una subutilización de los “caddies” (contenedores) al no ocupar su capacidad y/o peso máximo. Esta situación provoca que los operarios vuelvan a reubicar los ítems de manera empírica en los caddies sobrepasando en varias ocasiones su capacidad de volumen y/o de peso, perjudicando así la eficiencia del proceso y la ergonomía de los trabajadores.

Se trabajó con una amplia base de datos correspondiente a una semana de pedidos atendidos por el centro de distribución. Se implementó un algoritmo basado en una heurística greedy que se encargue de colocar productos en el caddie maximizando la capacidad del mismo y respetando sus límites de peso y volumen, y que en las combinaciones de los productos se evite la contaminación cruzada entre ellos. La programación de la misma se desarrolló con el lenguaje de programación Python a través de Visual Studio Code.

Los resultados obtenidos mediante el algoritmo implementado permitieron que el número total de caddies utilizados se reduzcan significativamente. Además, mediante un análisis comparativo se observó un incremento considerable en el porcentaje de utilización en cada uno de los caddies que se asignaban a los pedidos de los locales.

El algoritmo utilizado en este proyecto garantiza que se cumplan las restricciones de capacidad del caddie que en un principio no se respetaban. Además, gracias a esta propuesta el proceso de llenado de contenedores es más automatizado, y, por lo tanto, más eficiente.

Palabras Clave: Subutilización de caddies, heurística greedy, eficiencia.

ABSTRACT

The picking process of the products solicited by the establishments of a distribution center presents an underutilization problem with its containers by not occupying their volume capacity or maximum weight. This situation leads to a manual relocation of the products, ignoring the limitations of volume and weight of the container, prejudicing the process' efficiency and the ergonomics of the operators.

This project worked with an extensive database that corresponded to a week of orders attended by the distribution center. An algorithm based on greedy heuristics was implemented to allocate the products inside the container maximizing its capacity and guaranteeing that the weight and volume restrictions were fulfilled as well as the prevention of cross-contamination. The programming of the algorithm was developed with the high-level programming language "Python" through the code editor "Visual Studio Code":

The results of the algorithm showed a significant reduction in the total number of containers used as well as a meaningful increment in the percentage of utilization per container through a comparative analysis.

The algorithm implemented in this project ensures the fulfillment of the capacity restrictions of weight and volume, which isn't respected in the actual situation. Besides, because of this study, the picking process is more automated, and therefore, more efficient.

Keywords: Underutilization of containers, greedy heuristics, efficiency.

ÍNDICE GENERAL

Contenido

RESUMEN.....	6
ABSTRACT	7
ÍNDICE GENERAL.....	8
ABREVIATURAS	10
GLOSARIO	11
ÍNDICE DE FIGURAS.....	12
ÍNDICE DE TABLAS.....	13
CAPÍTULO 1.....	14
1. Introducción.....	14
1.1 Descripción del problema.....	15
1.2 Justificación del problema.....	16
1.3 Objetivos	17
1.3.1 Objetivo general	17
1.3.2 Objetivos específicos.....	17
1.4.1 Marco teórico.....	18
1.4.1 Estado del arte	18
1.4.2 Marco conceptual	20
CAPÍTULO 2.....	22
2. Metodología.....	22
2.1 Técnicas de investigación	23
2.1.1 Levantamiento de información	24
2.1.2 Recopilación de los datos	25
2.2 Análisis de la información levantada: Situación actual.....	25
2.3 Descripción de los modelos.....	35
2.3.1 Modelo del Problema de la mochila.....	35
2.3.2 Modelo del Problema de empaquetamiento en contenedores	37
2.4 Uso de software	39
2.5 Consideraciones legales y éticas	40
2.5.1 Evitar contaminación cruzada con productos contaminantes y comestibles	40
2.5.2 Riesgo laboral (ergonomía del trabajador).....	40
2.5.3 Factor económico.....	40
2.5.4 Acuerdo de confidencialidad.....	41
2.6 Fases del proyecto.....	41

2.7 Cronograma de trabajo	43
CAPÍTULO 3	44
3. Resultados y Análisis	44
3.1 Análisis de resultados	44
3.1.1 Análisis de resultados de cada día	45
3.2 Análisis comparativo	48
3.2.1 Análisis de costos	53
3.3 Especificaciones del prototipo	55
3.4 Diseño del prototipo	55
3.5 Propuesta de valor de la solución	56
CAPÍTULO 4	57
4. Conclusiones y recomendaciones	57
4.1 Conclusiones	57
4.2 Recomendaciones	58
BIBLIOGRAFÍA	59

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
BBO	Biogeography-Based Optimization
BPP	Bin Packing Problem
GRASP	Greedy Randomized Adaptive Search Procedures

GLOSARIO

NP – Hard Problem	este tipo de problema es computacionalmente difícil de resolver, ya que no existe una respuesta exacta a este problema en un tiempo polinomial
Ola	conjunto de locales a despachar en un mismo período de tiempo (entre 4 a 5 locales)
Zona	áreas de la bodega que se clasifican de acuerdo con la rotación de los productos (baja, media y alta)

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Porcentaje de productos de acuerdo con su combinabilidad.....	34
Figura 2.2 Comparación de volumen y pesos de caddies	35
Figura 2.3 Fases del proyecto	42
Figura 2.4 Cronograma de trabajo.....	43
Figura 3.1: Comparación del porcentaje de peso y volumen de los caddies empleados (actual vs. propuesta) del 15/05/2023	49
Figura 3.2: Comparación del porcentaje de peso y volumen de los caddies empleados (actual vs. propuesta) del 16/05/2023	49
Figura 3.3: Comparación del porcentaje de peso y volumen de los caddies empleados (actual vs. propuesta) del 17/05/2023	50
Figura 3.4: Comparación del porcentaje de peso y volumen de los caddies empleados (actual vs. propuesta) del 18/05/2023.....	50
Figura 3.5: Comparación del porcentaje de peso y volumen de los caddies empleados (actual vs. propuesta) del 19/05/2023	51
Figura 3.6: Comparación del porcentaje de peso y volumen de los caddies empleados (actual vs. propuesta) del 20/05/2023	51
Figura 3.7: Comparación del porcentaje de peso y volumen de los caddies empleados (actual vs. propuesta) del 21/05/2023	52
Figura 3.8: Comparación del porcentaje de peso y volumen de los caddies empleados (actual vs. propuesta) del 22/05/2023	52
Figura 3.9 Salida de código del algoritmo de optimización heurístico Greedy	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Información depurada de la ola 45 del día 15/05/2023.....	25
Tabla 2.2 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 15/05/2023.....	26
Tabla 2.3 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 16/05/2023.....	26
Tabla 2.4 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 17/05/2023.....	26
Tabla 2.5 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 18/05/2023.....	27
Tabla 2.6 <i>Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 19/05/2023.....</i>	<i>27</i>
Tabla 2.7 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 20/05/2023.....	28
Tabla 2.8 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 21/05/2023.....	29
Tabla 2.9 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 22/05/2023.....	29
Tabla 2.10 Porcentaje promedio del volumen y peso ocupado de cada ola	30
Tabla 3.1 Comparación del porcentaje de peso y volumen de los caddies empleados (actual vs. propuesta) del 15/05/2023.....	44
Tabla 3.2 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 15/05/2023.....	45
Tabla 3.3 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 16/05/2023.....	46
Tabla 3.4 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 17/05/2023.....	46
Tabla 3.5 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 18/05/2023.....	46
Tabla 3.6 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 19/05/2023.....	47
Tabla 3.7 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 20/05/2023.....	47
Tabla 3.8 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 21/05/2023.....	48
Tabla 3.9 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 22/05/2023.....	48
Tabla 3.10 Datos del personal de picking	53
Tabla 3.11 Salarios del personal	53
Tabla 3.12 Cálculo de costos diarios de la situación actual.....	53
Tabla 3.13 Cálculo de costos diarios de la propuesta	54
Tabla 3.14 Cálculo del ahorro anual	54
Tabla 3.15 Costos fijos asociados a la propuesta	54

CAPÍTULO 1

1. Introducción

Actualmente existen diversos centros de distribución localizados en Ecuador que manejan una gran gama de productos, los cuales pueden ser de distintos tipos. Sin importar qué producto manejen, todos buscan cerciorarse de que sus productos lleguen en óptimas condiciones hasta el cliente final. Para ello, es necesario que su almacenaje y distribución sea realizado de la mejor forma.

Este estudio está basado en el centro de distribución de una empresa de cobertura nacional que se dedica a la distribución de productos comestibles, contaminantes, y neutrales. Hoy en día este centro de distribución abastece a la mayor parte de la región ecuatoriana, recibiendo así órdenes de aproximadamente 236 locales que deben ser atendidos en un día.

Las actividades más relevantes que se realizan en el centro de distribución son las siguientes:

1. Recepción de mercadería: los productos que llegan a la bodega y que son enviados por los proveedores deben ser examinados a través de pruebas de calidad y posterior a esto, son registrados en el inventario.
2. Almacenamiento: los productos que estén verificados y registrados, se procede a organizarlos y almacenarlos en la ubicación asignada dentro del centro de distribución. Se hace uso de diferentes sistemas de almacenamiento como lo son estanterías, racks o pallets, este tipo de sistemas permite utilizar la mayor cantidad de espacio disponible y a su poder acceder al producto sin ningún percance.
3. Gestión de inventario: durante cada período de tiempo se debe llevar un control a los niveles de inventario, realizando un registro de los movimientos de los productos

almacenados mediante sus entradas y salidas al centro de distribución. Se actualiza los niveles de stock mediante este registro, evitando el desabastecimiento en la bodega.

4. Picking y packing: llegan pedidos al centro de distribución, por lo que el personal operativo procede a seleccionar los productos que indique el pedido para pasar a la etapa de empaquetamiento y prepararlos para su respectivo envío a los clientes.
5. Envío y distribución: los productos previamente seleccionados y empaquetados se colocan en el área de despacho para luego colocarlos en la unidad de transporte, mediante sistemas de gestión de bodegas, se rastrean los pedidos y se comprueba que se entregan a sus respectivos destinos finales. En esta fase, es importante tener presente una buena organización y coordinación que respete los tiempos de entrega.

La actividad en la que se hace mayor énfasis en este proyecto es la número 4 “picking y packing”. Se pretende aplicar un algoritmo basado en metaheurísticas que permita que las tareas que se realizan durante este proceso sean óptimas y eficientes.

1.1 Descripción del problema

La empresa maneja una diversidad de ítems que se clasifican en diferentes categorías: comestible, contaminante y neutro. Es importante considerar el orden de estos en el proceso de picking para evitar contaminación cruzada en los pedidos. Actualmente la empresa dispone de un sistema informático que determina como deben realizarse las operaciones del picking.

Al operador le llegan las tareas diarias de acuerdo con lo que establezca el sistema de picking, este se dirige hacia la ubicación indicada por el sistema, y procede a escanear el código de barras de la ubicación para poder saber cuántas unidades debe colocar en la unidad de transporte denominada caddie o contenedor. El operador detiene el llenado del caddie cuando este ha llegado a su peso máximo de 375 kilogramos, aunque se pueda visualizar mucho espacio por ocupar, el operador coloca los caddies en la playa, esperando que lleguen los vehículos que transportaran los caddies a sus respectivos locales.

Ante esta situación, el resultado es la subutilización de los contenedores (caddies) al no aprovechar en su totalidad el volumen del mismo y solo considerar el límite de peso. Por este motivo, requieren de personal adicional para rellenar de forma empírica los caddies, reacomodando los ítems para usar toda la capacidad posible. Esto muchas veces implica que se exceda el peso máximo del caddie, lo cual dificulta la movilidad del mismo, perjudicando así la ergonomía de los operadores. En otras palabras, el llenado del contenedor se está realizando dos veces (una hecha por el picker y otra hecha por personal adicional para reacomodarlo), afectando la eficiencia de la operación.

Como requerimiento adicional, se sugiere que la maximización de los contenedores no conlleve a que el montacargas recorra más distancia, si no lo contrario, que realice la menor cantidad de recorridos por la bodega, respetando las debidas restricciones que existen en las diferentes zonas del centro de distribución.

1.2 Justificación del problema

La empresa presenta un problema en el llenado de sus contenedores, los cuales sirven para transportar los productos desde el centro de distribución hacia sus locales. La estrategia actual con la que la empresa realiza el llenado de los caddies conlleva a que se subutilice el espacio de los mismos. La optimización de la ocupación de los contenedores servirá para dar un mejor uso a los recursos con los que se realiza el proceso de picking, como lo son los caddies y el personal operativo. El objetivo de desarrollo sostenible que se puede visualizar en el desarrollo del proyecto es el número 8: “Trabajo decente y crecimiento económico” ya que este trabajo tiene como objetivo buscar una mejor organización al momento de realizar las operaciones diarias en el centro de distribución, maximizando así la capacidad que tienen cada uno de los caddies con el fin de no realizar recorridos extras, optimizando tiempo y recursos. Así mismo, se busca proteger la salud física de sus operadores mejorando la ergonomía al momento de realizar de forma manual la recolocación de los pedidos en los

caddies y trasladar estos al contenedor que los llevará a sus respectivos locales, ya que en algunas ocasiones los caddies sobrepasan el peso máximo a cargar.

Adicional a esto, otro de los ODS que está vinculado a este estudio es el número 9: “Industria, innovación e infraestructura” puesto que es fundamental que los equipos utilizados en la bodega, como los montacargas y los contenedores sean parte de proyectos innovadores que garanticen que se cumplan todos los mantenimientos y precauciones respectivas al momento de manipularlos. Así mismo, se busca optimizar las actividades dentro de la bodega, lo cual a su vez va a conservar la infraestructura en la que se realizan las mismas. Así se evitará que los contenedores se desgasten en menores períodos de tiempo y así ya no se tendrán que reponer tan rápidamente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Implementar un algoritmo basado en heurísticas para resolver el problema de optimización de la carga de contenedores (caddies) utilizados en el proceso de picking en una empresa comercial de cobertura nacional.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar los factores que impiden la utilización máxima del contenedor, recorriendo las instalaciones del centro de distribución visualizando así un mejor panorama.
- Identificar las variables más relevantes que influyen en el proceso de picking para considerarlas dentro del modelo matemático.
- Implementar un algoritmo de optimización basado en heurísticas para resolver el modelo matemático planteado.
- Comparar los resultados obtenidos mediante el algoritmo con la situación actual del proceso de picking de la empresa.

1.4.1 Marco teórico

1.4.1 Estado del arte

Según el artículo *“A hybrid biogeography-based optimization algorithm for three-dimensional bin size designing and packing problem”* (Chen et al., 2023) el algoritmo realizado combina principios de la optimización basado en la biogeografía (BBO). Este es un algoritmo de optimización que modela el comportamiento de migración de especies entre hábitats. Este algoritmo híbrido es la combinación de un algoritmo genético en el marco de BBO. Se comienza con una población de posibles soluciones, cada una de ellas el tamaño de contenedores junto a las ubicaciones de sus respectivos artículos, introduce operaciones que las divide en dos fases llamadas migración y mutación, en donde la fase de migración explica que recolecta la información de las posibles soluciones y en la fase de mutación inserta ligeros cambios aleatorios con el fin de diversificar la población. El algoritmo BBO se puede combinar con otros métodos como la búsqueda local y el recocido simulado con el fin de mejorar la solución obtenida.

El algoritmo ayuda en la evolución de la población, ya que las soluciones que más aprovechen el espacio de sus contenedores se consideran como los más fuertes y mejores para la supervivencia y reproducción de las especies gracias a las fases de migración y mutación previamente mencionadas. El criterio de parada se define con un número de iteraciones previamente establecido o hasta llegar a la solución más aproximada a la óptima. El artículo resalta la búsqueda de una combinación de los objetos que maximicen el espacio que el contenedor dispone. Teniendo resultados experimentales, demostrando la eficiencia de este algoritmo híbrido basado en la biogeografía en la resolución del problema.

Por otro lado, en el artículo *“A Simulated Annealing approach for the Circle Bin Packing Problem with Rectangular Items”* (Tole et al., 2023), los autores explican el desafío que presenta esta variante del típico problema de BPP, ya que los contenedores en donde se

deben colocar los diferentes tipos de objetos son circulares. Como se mencionó anteriormente, para poder alcanzar una solución lo más cercana a la óptima, se utiliza diferentes algoritmos para ello. En este caso, se emplea un algoritmo de recocido simulado. Al ejecutar el algoritmo de recocido simulado, coloca aleatoriamente los objetos en el contenedor circular dando la primera solución, la cual se buscará realizar varias iteraciones con el fin de minimizar el espacio desaprovechado. A través de varias iteraciones, el algoritmo analiza la ocupación del espacio del contenedor circular realizando modificaciones en cada una de las iteraciones.

En este algoritmo se usa el factor de temperatura para realizar la exploración en la búsqueda. En la iteración inicial la temperatura está alta, a medida que se realiza las iteraciones, se pretende bajar la temperatura. Las soluciones que tengan un mayor espacio sin utilizar en función de una probabilidad que depende de la temperatura actual y la diferencia del espacio sin utilizar entre la solución actual y propuesta son aceptadas por el algoritmo, pues esto permite a que se enfoque en óptimos locales logrando la exploración de soluciones mejores que aprovechen la mayor cantidad de espacio. El criterio de parada que tiene este algoritmo se debe a definir un número anteriormente establecido de iteraciones o que el factor de la temperatura se encuentre por debajo de lo mínimo establecido. Esta investigación indica que la ejecución de este algoritmo brinda flexibilidad para abordar un problema NP-Hard, con la variación de detener contenedores de forma circular.

El artículo de *“A Heuristic Procedure for the Outbound Container Relocation Problem during Export Loading Operations”* (Guerra-Olivares et al., 2015) ayuda a tener una amplia visualización del problema. Busca la reubicación de los contenedores dentro de un puerto con el fin de optimizar la carga eficiente en los barcos. Para esto se aplica un procedimiento heurístico que busca minimizar la distancia total de reubicación para lograr mover los contenedores en mejores posiciones. Se asigna primero los contenedores según lo que indiquen las franjas horarias, estas indican una planificación de secuencia de carga. Mediante

esta asignación inicial, la heurística parte como punto de partida. En cada iteración este proceso heurístico mejora la asignación en la reubicación de contenedores, esto conlleva a intercambiar las ubicaciones de los contenedores para que recorra la menor distancia posible durante este proceso. Las restricciones que se toma en cuenta este artículo son el peso, los requisitos que impliquen estabilidad y la compatibilidad entre los contenedores que se encuentren cercanos. Estas restricciones aseguran que se cumplan con todas las normas de seguridad para los operativos en la reubicación de los contenedores.

1.4.2 Marco conceptual

Bin Packing Problem

El “BPP” es un problema de optimización combinatoria en el que se tiene un conjunto de artículos u objetos cuya característica principal a considerar es el tamaño o sus respectivas medidas. El objetivo de este problema es colocar la mayor cantidad de objetos en un contenedor o caja, con capacidad respectiva, aprovechando la mayor cantidad de espacio posible. Se busca utilizar la menor cantidad de contenedores o cajas, puesto que el mayor uso de estos implicaría el aumento de costos y operaciones en la práctica (Munien & Ezugwu, 2021).

Greedy Randomized Adaptive Search Procedures

El “GRASP” es un proceso iterativo donde cada iteración se realiza a partir de dos fases: 1) construcción, cuyo objetivo es hallar una solución factible y 2) búsqueda local, la cual pretende mejorar el resultado obtenido a través de una búsqueda por la vecindad de la solución anterior (Feo & Resende, 1995).

Algoritmos Glotones

Los algoritmos glotones son procesos reiterativos en los cuales se escoge la mejor solución aparente del momento. Es decir, considerando inicialmente un conjunto de elementos que podrían ser parte de la solución, se escogerán aquellos ítems que maximicen (o minimicen) la función objetivo empezando por aquel elemento que podría representar la solución al problema (óptimo local). De esta forma, en cada paso iterativo seguirá seleccionando elementos con el fin de encontrar el óptimo global. Sin embargo, los algoritmos glotones no siempre encontrarán la solución óptima, pero sí hallarán una buena solución a un bajo costo computacional (Cormen et al., 2022).

CAPÍTULO 2

2. Metodología

En este capítulo se detallan todos los pasos del proceso de investigación que se llevaron a cabo para alcanzar los objetivos propuestos previamente, con la finalidad de conocer la situación actual de la empresa, la realidad del problema planteado junto con sus posibles causas.

Para ello fue necesario realizar algunas entrevistas con los miembros del equipo de trabajo del área del problema en cuestión (almacenamiento) las cuales permitieron dar un mejor enfoque al proyecto de investigación. De esta manera, se pudo abordar el problema de la manera más idónea aplicando la técnica más apropiada que se ajuste a las necesidades de la empresa.

Inicialmente se realizó una reunión vía Microsoft Teams con el jefe y la analista de optimización, quienes fueron los contactos directos de la empresa, con el fin de socializar el problema planteado. Se revisaron algunos términos clave que manejan dentro de la organización junto con una breve descripción de la condición en la que actualmente se encuentran. Posterior a esto se realizaron reuniones adicionales que permitieron ampliar el panorama del problema.

Por medio de una visita técnica se logró obtener un mejor panorama del problema de optimización con el que contaba la empresa ya que se observaron los inconvenientes que generaba el llenado de los caddies al momento de realizar la carga de los mismos. Además, fue posible tangibilizar muchos de los conceptos que habían sido mencionados en reuniones previas.

Además, se consiguieron algunos datos que son fundamentales para el diseño e implementación del modelo. La empresa suministró una base de datos que contenía las tareas

que se realizan en el área de bodega, la ubicación de los productos dentro del almacén, el volumen y el peso de cada producto que manejan, la ola a la que corresponde la tarea, el número de contenedor y el tipo de combinabilidad del del producto (comestible, neutro o contaminante). Adicional a esto, se incluyó un layout de la bodega con la respectiva asignación de sus zonas y secciones para obtener una mejor visualización de las mismas. Luego, se procedió a hacer un análisis de la información previamente mencionada a través de tablas dinámicas en Microsoft Excel, las cuales facilitaron la interpretación de los datos.

Posterior a esto se plantearon las variables del modelo matemático, así como también las restricciones y limitaciones del problema. Consecutivamente, se desarrolló un modelo basado en metaheurísticas para resolver el problema desde una perspectiva del BPP, el cual fue implementado en un algoritmo en lenguaje de programación Python.

Se consideraron otras alternativas de solución como el problema de la mochila “Knapsack Problem”, sin embargo, se escogió abarcar el problema como un BPP ya que es el que más se asemeja a la situación real de la empresa debido a la amplia gama de productos que maneja, además de tener varios parámetros que deben tomarse en cuenta al momento de optimizar la capacidad de carga de los caddies (volumen, peso y combinabilidad del producto).

2.1 Técnicas de investigación

La primera técnica de investigación que se utilizó fue una entrevista con el gerente del departamento de optimización a través de una sesión virtual por medio de la herramienta Microsoft Teams, donde se explicó la situación que está pasando la empresa y las consecuencias que este presenta, cómo esta afecta a factores claves de la empresa. Adicionalmente se dio a conocer por cuánto tiempo dicho problema ha estado presente en el centro de distribución y como han tratado de afrontar las dificultades que este presenta.

Otra técnica que se usó fue la de observación, pues permitió examinar el área de trabajo y el entorno en el que se realizan las actividades del llenado de los contenedores, logrando entender de manera visual el problema y a su vez percibir los conflictos que surgían durante el llenado de los caddies. Este método fue fundamental para conseguir un panorama más completo de la situación de la empresa. Por consiguiente, el presente proyecto utilizó un método cuantitativo y descriptivo para abordar el problema en cuestión. Se estudió la naturaleza del área de bodega, así como las características y requisitos que se deben cumplir al momento de realizar la carga de los caddies.

También se utilizó la técnica de observación en una visita técnica al centro de distribución para entender de manera visual el problema y a su vez percibir los conflictos que surgían durante el llenado de los caddies. Este método fue fundamental para conseguir un panorama más completo de la situación de la empresa.

2.1.1 Levantamiento de información

A través de las distintas entrevistas que se llevaron a cabo por medio de Microsoft Teams y con la visita técnica se pudo obtener la información necesaria para comprender la situación de la empresa en su totalidad.

Posterior a la visita, se solicitó vía correo electrónico una base de datos que contenga información acerca de los pedidos que fueron despachados en un limitado período de tiempo. Inicialmente, se comenzó a trabajar con los pedidos que fueron realizados durante una semana, para lo cual se escogió la semana desde el 15 hasta el 22 de mayo de 2023, ya que solamente considerando una semana se obtuvo la cantidad de 189,783 registros con 23 variables. Esta base de datos contenía información acerca de la variedad de productos que manejaban, su tipo de combinabilidad (comestible, neutro, o contaminante), el peso y el volumen que fue despachado, la ubicación de los mismos dentro de la bodega, y la secuencia de picking con la que han sido cargados los productos desde la estantería hasta el caddie. Así

mismo, se incluyó un diseño de la bodega con la asignación de cada uno de los pasillos, zonas, y secciones.

2.1.2 Recopilación de los datos

En la siguiente tabla se escogió como ejemplo aleatorio la ola número 45 del día 15 de mayo de 2023, con sus respectivos locales. Se tomó en cuenta solo 8 variables de las 23, ya que las que se muestran en la tabla definen características a considerar durante el modelo, como lo son el código de producto, el volumen y peso del mismo, la sucursal que lo solicita, qué locales son atendidas en esa ola, su tipo de combinabilidad, la descripción del producto y el día.

Tabla 2.1 Información depurada de la ola 45 del día 15/05/2023

Fuente: TÍA

COD PRODUCTO	VOLUMEN	PESO	COD SUCURSAL	OLA	COMBINABILIDAD	DESCRIPCIÓN CORTA	FECHA DE TRANSACCIÓN
236037002	0.0033075	2.0394	105	45	CTMNT	ALIMENTO HUMEDO P/	5/15/23
236130002	0.0022275	0.3651	105	45	CTMNT	SNACK P/GATO NUTRA	5/15/23
236101000	0.001921199	0.5355	105	45	CTMNT	SNACK P/PERRO MIMM	5/15/23
236130002	0.00297	0.4868	147	45	CTMNT	SNACK P/GATO NUTRA	5/15/23
236310000	0.000942512	0.18	147	45	CTMNT	GALLETAS P/PERRO M	5/15/23
236130002	0.0007425	0.1217	154	45	CTMNT	SNACK P/GATO NUTRA	5/15/23
236310000	0.001413767	0.27	154	45	CTMNT	GALLETAS P/PERRO M	5/15/23
236033000	0.0037632	2.064	154	45	CTMNT	ALPISTE DEL SUR 45	5/15/23
236101000	0.005507436	1.5351	154	45	CTMNT	SNACK P/PERRO MIMM	5/15/23

2.2 Análisis de la información levantada: Situación actual

Los datos proporcionados por la empresa son muy amplios, lo que permitió analizar diversos escenarios. A continuación, se describirá y detallará la información obtenida mediante tablas y elementos visuales que permiten representar eficientemente y comprender los datos.

Para el análisis de la información otorgada por la empresa, se consideraron 2 olas con sus respectivos locales de cada día de la semana de estudio para analizar la cantidad de

caddies utilizados, así como el volumen y peso total de los mismos bajo la situación actual de la empresa. Se puede apreciar claramente que la mayoría de los contenedores no alcanzan ni el 30% de su capacidad de peso ni de volumen, mientras que otros contenedores sobrepasan el límite establecido de 375 kg y 0.85 m³.

Tabla 2.2 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 15/05/2023

Fuente: Elaboración propia

DIA	OLA	LOCAL	CADDIES	VOLUMEN TOTAL OCUPADO	PESO TOTAL OCUPADO	
5/15/2023	45	105	1	0.007456199	2.94	
		147	1	0.003912512	0.6668	
		154	1	0.011426903	3.9908	
	307	532		1	0.89254072	310.9586
				2	0.54218292	281.551
				3	0.17903592	100.5192
				4	0.0613089	34.3944

Tabla 2.3 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 16/05/2023

Fuente: Elaboración propia

DIA	OLA	LOCAL	CADDIES	VOLUMEN TOTAL OCUPADO	PESO TOTAL OCUPADO	
5/16/2023	313	171	1	0.48916032	268.1568	
			2	0.2108	119.2	
			3	0.563818046	290.0025	
			4	0.1764864	101.9136	
	420	596		1	0.175435646	106.08
				2	0.42105972	121.314
				3	0.04171824	12.9924
				4	0.139932	80.28

Tabla 2.4 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 17/05/2023

Fuente: Elaboración propia

DIA	OLA	LOCAL	CADDIES	VOLUMEN TOTAL OCUPADO	PESO TOTAL OCUPADO	
5/17/2023	312	302	1	0.650488	319.828	
			2	0.234432	154.08	
			3	0.3831372	28.5	
	511	505		1	0.2301	33.225
				2	0.333036	9.85
				3	1.216608	200.64
				4	0.93968	66.84
				5	0.939136	154.88
				6	0.6430915	217.09
				7	0.13105	19.36

Tabla 2.5 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 18/05/2023

Fuente: Elaboración propia

DIA	OLA	LOCAL	CADDIES	VOLUMEN TOTAL OCUPADO	PESO TOTAL OCUPADO
5/18/2023	1	109	1	0.286416	140.4816
		158	1	0.8055	283.896
		359	1	0.06031872	42.24
		532	1	0.2856	34.26
			2	0.059976	3.15
	562	1	0.344448	76.935	
	507	328	1	0.0067612	1.7615
		546	1	0.116957098	70.72
			2	0.793712	283.3114
			3	0.13385808	10.6308

Tabla 2.6 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 19/05/2023

Fuente: Elaboración propia

DIA	OLA	LOCAL	CADDIES	VOLUMEN TOTAL OCUPADO	PESO TOTAL OCUPADO
5/19/2023	21	105	1	0.021168	12.6
			2	0.10864352	56.1385
			3	0.052272	6.0792
			4	0.5174082	349.1886
			5	0.07681776	48.2798
			6	0.11017343	25.1089
			7	0.948786	196.4292
			8	0.28697556	153.8356
			9	0.60797676	348.4562
		168	1	0.01092	6.9652
			2	0.058238	24.73
			3	0.281987491	151.3156
			4	0.86776641	296.3386
		333	1	0.01092	6.9652
			2	0.06093353	22.1092
			3	0.17553585	95.576
			4	0.065178	5.72
		531	1	0.00624	4.4
			2	0.244383605	107.8188
			3	0.23846504	125.107
			4	0.220536	17.9796
			5	0.026136	3.0396
			6	0.00808896	6.4998
			7	0.129241053	27.8248

			8	0.00936	6.6		
			9	0.68762178	349.4998		
			10	0.55324533	348.8786		
			544	1	0.024	12.45	
				2	0.082169546	19.958	
				3	0.1428	17.13	
				4	0.149089061	47.0391	
				5	0.399183571	212.2406	
			5	505	1	0.9539454	130.8466
					2	0.8802644	103.1883
	3	0.949655			109.12		
	4	0.06498			7.5		
	5	0.43297165			65.5741		
	6	0.909376			78.53		
	7	0.746536			93.17		
				8	0.59852	49.592	

Tabla 2.7 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 20/05/2023

Fuente: Elaboración propia

DIA	OLA	LOCAL	CADDIES	VOLUMEN TOTAL OCUPADO	PESO TOTAL OCUPADO	
5/20/2023	700	700	1	0.7106538	25.2	
			2	0.64343	23	
			3	0.244296	16	
			4	0.366444	24	
			5	0.023184	7.4	
			6	0.02736	40	
			7	0.2368846	8.4	
			8	0.073515	8.525	
			9	0.087285	39.95	
			10	0.039528	4.728	
	11	0.4284	266.3			
	12	0.062974	9.08			
	13	0.3996	17.4			
	14	0.1332	5.8			
	15	0.94461	136.2			
		309	302	1	0.215215646	69.92
	2			0.33893312	348.759	
3	0.34483488			250.912		
4	0.11946056			44.2485		
5	0.00431616			4.37		

Tabla 2.8 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 21/05/2023

Fuente: Elaboración propia

DIA	OLA	LOCAL	CADDIES	VOLUMEN TOTAL OCUPADO	PESO TOTAL OCUPADO
5/21/2023	91	123	1	0.00949122	0.9758
			2	0.052903943	16.5344
			3	0.0648	4.98
			4	0.01230687	4.0404
			5	0.77021992	84.6092
		151	1	0.20736276	21.7882
			2	0.099390725	36.8269
			3	0.1944	14.94
			4	0.011638955	3.4224
			5	0.34678725	123.4706
		345	1	0.0058905	0.48
			2	0.08580254	29.2846
			3	0.1296	9.96
			4	0.00273843	1.518
			5	0.10383594	13.5194
	392	1	0.05950587	4.392	
		2	0.077312252	27.9898	
		3	0.010511093	3.2892	
		4	0.49520697	123.4368	
	705	700	1	0.062974	9.08
			2	0.07616	16.32
			3	0.2664	11.6
			4	0.94461	136.2
			5	0.4737692	16.8
			6	0.0611325	50.6
			7	0.0884032	38.4
			8	0.0664832	42.4

Tabla 2.9 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 22/05/2023

Fuente: Elaboración propia

DIA	OLA	LOCAL	CADDIES	VOLUMEN TOTAL OCUPADO	PESO TOTAL OCUPADO
5/22/2023	42	115	1	0.00782877	2.8697
			2	0.007840838	3.4368
			3	0.007615954	3.9408
			4	0.451291022	217.5412
		187	1	0.023270256	9.8011
			2	0.041667518	15.3976
			3	0.007615954	3.9408
		349	1	0.001510979	0.3359
			2	0.015214254	6.2492
		709	1	0.00810828	3.5328
2	0.237767674		131.424		

En la tabla 2.10 que se visualiza a continuación, se analiza el porcentaje promedio del volumen y peso que ocupan los caddies en cada una de las olas, en total se tiene 190 olas durante la semana de estudio.

Tabla 2.10 Porcentaje promedio del volumen y peso ocupado de cada ola

Fuente: Elaboración propia

OLA	PROMEDIO DE VOLUMEN OCUPADO	PROMEDIO DE PESO OCUPADO
1	25.51%	16.67%
2	35.44%	30.78%
3	25.86%	23.48%
4	26.97%	24.32%
5	23.30%	6.50%
6	22.25%	14.71%
7	31.62%	9.13%
8	33.70%	37.46%
10	3.71%	3.70%
11	3.48%	3.41%
12	3.96%	3.65%
13	3.51%	3.61%
14	3.69%	3.15%
15	4.40%	3.88%
16	3.72%	3.63%
17	3.90%	3.96%
18	3.52%	3.71%
19	4.15%	4.04%
20	3.18%	3.19%
21	3.20%	3.09%
22	3.28%	3.27%
23	3.43%	3.28%
24	3.24%	3.07%
25	3.52%	2.94%
26	3.33%	3.23%
27	3.35%	3.21%
28	3.02%	3.08%
29	2.68%	2.64%
30	3.55%	3.40%
31	3.18%	3.18%
32	2.96%	2.93%
33	3.30%	3.25%
34	17.92%	23.17%
35	19.40%	21.04%
36	11.88%	15.13%
37	8.54%	7.80%
38	4.62%	4.50%
39	4.30%	2.69%
40	3.22%	3.12%
41	3.37%	3.19%
42	3.35%	3.13%
43	3.47%	3.45%

44	3.11%	2.92%
45	3.01%	2.89%
46	3.08%	3.12%
47	3.50%	3.23%
48	3.05%	2.84%
49	3.06%	3.07%
50	3.32%	3.30%
51	3.30%	3.33%
52	3.23%	3.17%
53	3.59%	3.41%
54	3.36%	3.30%
55	3.59%	3.51%
56	3.04%	2.95%
57	3.85%	3.54%
58	3.67%	3.70%
59	3.36%	3.43%
60	3.37%	3.48%
61	3.32%	3.26%
62	3.87%	4.06%
63	3.87%	3.95%
64	3.95%	3.84%
65	2.97%	2.75%
70	3.32%	3.13%
71	2.89%	2.80%
72	3.39%	3.24%
73	3.21%	3.05%
74	3.07%	2.90%
75	3.30%	3.18%
76	3.12%	2.86%
77	3.19%	2.94%
78	3.46%	3.15%
79	2.79%	2.77%
80	2.81%	2.64%
81	3.06%	3.12%
82	3.22%	3.11%
83	2.99%	2.88%
84	3.00%	2.97%
85	3.54%	2.79%
90	3.10%	3.01%
91	3.02%	2.61%
200	30.29%	14.51%
201	33.60%	15.69%
202	34.86%	23.90%
203	25.00%	32.74%
204	66.07%	19.78%
206	44.82%	36.41%
210	60.03%	69.18%

211	30.82%	52.20%
212	70.90%	48.82%
220	49.27%	18.13%
221	39.90%	13.05%
300	10.39%	6.49%
301	1.03%	2.06%
302	15.33%	16.73%
303	20.38%	25.89%
304	12.30%	11.27%
305	11.45%	10.63%
306	22.11%	28.18%
307	10.69%	10.15%
308	14.55%	13.71%
309	4.89%	5.96%
310	16.84%	22.76%
311	5.98%	5.64%
312	22.86%	19.64%
313	11.20%	12.66%
314	33.70%	37.46%
315	37.91%	42.14%
320	29.83%	20.61%
321	19.09%	13.19%
350	36.61%	42.57%
351	19.45%	12.56%
352	23.82%	20.96%
353	9.77%	6.76%
354	27.33%	33.78%
355	16.59%	20.59%
356	16.69%	12.61%
357	11.70%	8.10%
358	16.59%	11.48%
359	16.99%	20.14%
360	27.04%	32.65%
361	26.25%	28.98%
362	15.75%	6.93%
363	18.52%	12.82%
364	17.90%	11.41%
365	5.74%	3.09%
367	24.54%	16.93%
400	11.93%	9.03%
401	23.64%	3.97%
402	43.72%	23.18%
403	15.60%	9.16%
404	8.44%	7.40%
405	8.69%	4.75%
406	23.64%	3.97%
407	23.64%	3.97%

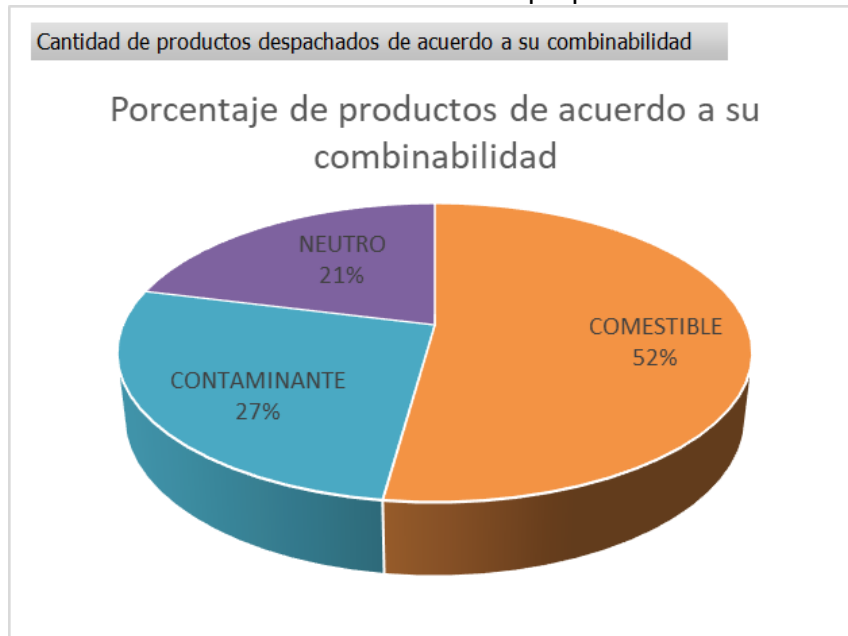
408	17.87%	3.16%
410	70.48%	35.68%
411	16.51%	4.10%
412	105.71%	53.52%
413	3.55%	3.05%
414	1.95%	1.81%
415	2.33%	2.57%
416	2.46%	2.56%
417	2.13%	2.63%
418	13.29%	13.44%
419	9.11%	11.70%
420	11.44%	10.69%
421	27.27%	2.38%
422	14.11%	7.79%
423	31.15%	9.47%
424	13.03%	12.83%
425	23.51%	25.17%
426	11.90%	12.59%
427	9.32%	4.03%
428	0.46%	0.24%
429	0.45%	0.25%
430	88.09%	44.60%
500	25.29%	10.07%
501	8.33%	8.55%
502	17.29%	5.33%
503	15.96%	7.55%
504	9.42%	6.93%
505	28.77%	21.27%
506	8.28%	4.91%
507	13.74%	10.86%
508	25.20%	24.74%
509	17.87%	6.05%
510	21.52%	8.53%
511	37.29%	15.29%
512	6.95%	3.11%
514	7.04%	8.77%
516	52.65%	58.53%
517	63.18%	70.24%
518	46.33%	51.51%
519	25.27%	28.10%
520	22.51%	6.93%
521	13.50%	11.80%
522	33.70%	37.46%
523	33.70%	37.46%
524	18.25%	19.95%
525	32.01%	35.59%
526	27.67%	14.98%
600	0.32%	0.20%
601	0.00%	0.80%
700	25.20%	9.32%
701	27.03%	10.03%
705	30.00%	10.71%
720	23.66%	9.56%
721	57.48%	8.53%

A continuación, en la figura 2.1 se puede visualizar en porcentaje la cantidad de productos despachados durante la semana de estudio de acuerdo con su combinabilidad, por

lo que los productos comestibles tienen una mayor rotación en la bodega, es por ello que es importante tomar en cuenta las debidas precauciones al momento de llenar el caddie.

Figura 2.1 Porcentaje de productos de acuerdo con su combinabilidad

Fuente: Elaboración propia



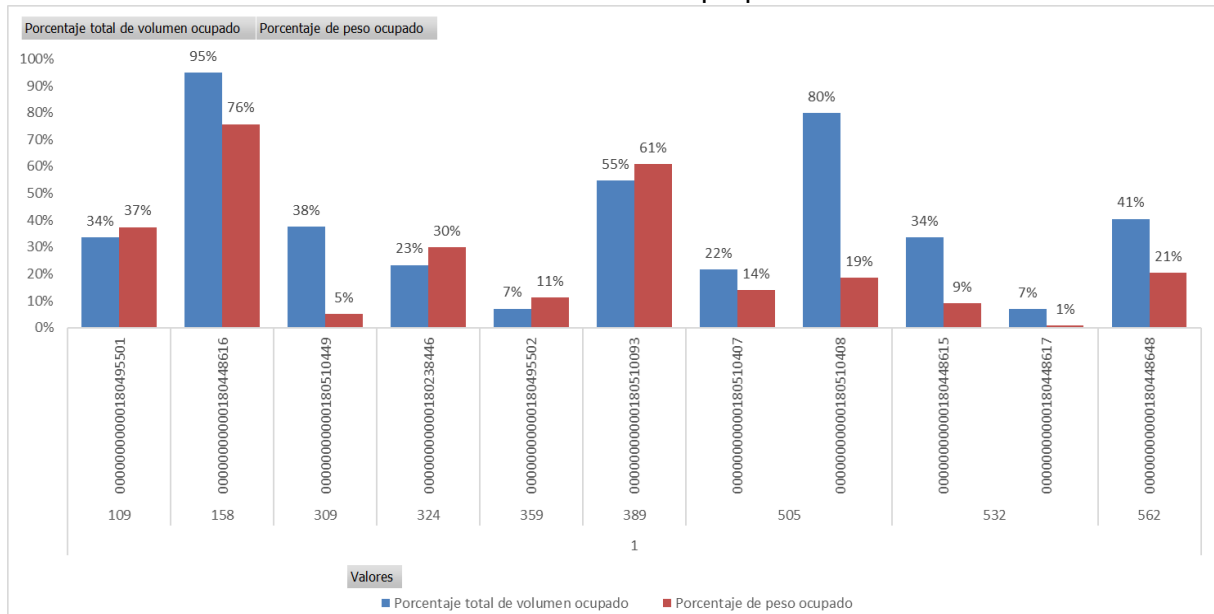
En la figura 2.2 se escogió como ejemplo para analizar la ola 1 junto a los contenedores que se utilizaron para el proceso de picking asignados a un local. Se visualiza que a ciertos locales se les asigna más de un caddie. Sin embargo, ninguno de sus caddies es utilizado a su capacidad máxima de volumen, la cual es de 0.85 metros cúbicos, por lo que se tendría que analizar la variable peso, pues es posible que el caddie estuvo a su capacidad máxima en términos del peso.

Adicionalmente, se procedió con el análisis de la dimensión del peso y volumen de la ola 1 durante toda la semana de estudio, para lo cual se generó un diagrama de barras, que se encuentra en la figura 2.2, donde se puede observar que la mayoría de estos contenedores no llegaron a su peso máximo, esto puede ser debido a que los productos fueron solicitados en cantidades mínimas. No obstante, cabe mencionar que los contenedores asignados a un

mismo local tampoco llegan a su límite de peso, con lo que coincide que su volumen y peso no llegan a sus máximos valores, lo cual resulta en una subutilización del caddie.

Figura 2.2 Comparación de volumen y pesos de caddies

Fuente: Elaboración propia



2.3 Descripción de los modelos

2.3.1 Modelo del Problema de la mochila

El problema de la mochila conocido como “Knapsack Problem” en inglés, es un problema de optimización combinatoria. En donde se tiene un conjunto de ítems disponibles para colocar dentro de una mochila con sus respectivos pesos y/o volumen y valor asociado, y la mochila que tiene un límite de peso o capacidad de carga. El objetivo de este problema es colocar los ítems que maximizan la utilidad cargada en la mochila sin exceder su peso o capacidad máxima.

Para formular este problema se considera un conjunto de ítems disponibles a guardar en la mochila $N = \{1, 2, 3, \dots, n\}$, entonces su formulación es la siguiente.

Índices

Ítems disponibles $i = 1, 2, 3, \dots, n \forall i \in N$.

Parámetros

v_i : Valor asociado a cada ítem.

w_i : Peso/Volumen asociado a cada ítem.

W : Peso/Volumen máximo de la mochila.

Variables

Variable binaria

x_i : Variable de decisión 1 si el objeto se introducirá en la mochila, 0 si no.

Función Objetivo:

Se busca maximizar el valor asociado de cada ítem que pertenece al conjunto.

$$\text{Max } z = \sum_{i=1}^n v_i x_i$$

Restricciones

Los ítems escogidos no deberán sobrepasar el peso/volumen máximo de la mochila.

$$\sum_{i=1}^n w_i x_i \leq W$$

Si bien este problema tiene características que se asocian al problema que presenta la empresa, se decidió no seguir este modelo debido a que el problema real contenía varias restricciones a considerar en el modelo matemático. Además, el problema de la mochila se lo utiliza para los siguientes ejemplos: artículos para una excursión, compra de productos, tareas a realizar, entre otros.

2.3.2 Modelo del Problema de empaquetamiento en contenedores

El problema que presenta la empresa tiene características similares al problema de optimización combinatoria denominado el problema de empaquetamiento en contenedores (en inglés, Bin Packing Problem), ya que se busca maximizar el porcentaje de utilización de los contenedores asignados con los productos destinados al despacho.

Para describir el modelo representamos al conjunto de ítems que se maneja dentro de la bodega con el conjunto $P = \{1, 2, 3, \dots, n\}$, donde cada elemento representará un ítem que maneja la bodega. A continuación, describiremos otros elementos del modelo.

Índices

Ítems en la bodega: $i = 1, 2, 3, \dots, n$

Contenedores disponibles: $j = 1, 2, \dots, m$

Parámetros

n : Número de ítems. $n = 4,332$

m : Número de contenedores. $m = 11,243$

Q : Capacidad máxima de volumen de los caddies, en metros cúbicos. $Q = 0.85 \text{ m}^3$

W : Capacidad máxima de peso de los caddies, en kilogramos. $W = 375 \text{ kg}$

w_i : Peso unitario de cada uno de los productos de la bodega, en kilogramos.

v_i : Volumen unitario de cada uno de los productos de la bodega, en metros cúbicos.

c_i : Categoría del producto i donde $c_i \in \{\text{comestible}, \text{contaminante}, \text{neutro}\}$.

Variables

- Variables binarias:

x_{ij} : Variable de decisión, 1 si se colocará el ítem i en el contenedor j , 0 en caso contrario.

y_j : Variable de decisión, 1 si se usará el contenedor j , 0 en caso contrario.

Función Objetivo:

La función objetivo está enfocada en minimizar el número de contenedores, puesto que la empresa enfatiza en maximizar el volumen de los caddies, por lo que minimizar el número de contenedores está ligado a utilizar la capacidad máxima de su volumen, minimizando la subutilización de caddies.

$$\text{Min } z = \sum_{j=1}^m y_j$$

Restricciones

El problema tiene las siguientes restricciones derivadas a reglas de negocios de la empresa y reglas de despacho, para la simplificación del estudio de este problema y para obtener resultados de a través de una buena solución se tomó en cuenta las restricciones que posee el caddie:

Restricciones del caddie:

- No sobrepasar los 375 kg, cada caddie debe respetar su peso máximo, ya que si esté se llega a exceder perjudica la ergonomía de los trabajadores y la maquinaria de la empresa.

$$\sum_{i=1}^n w_i x_{ij} \leq W \quad \forall j$$

- No sobrepasar la capacidad 0.85 m^3 , cada caddie debe respetar su volumen máximo, ya que el exceso de ítems en él provocaría desbordamiento en él.

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{ij} \leq Q \quad \forall j$$

- No se debe combinar productos contaminantes y comestibles en el mismo caddie, puesto que esto produce contaminaciones en los productos.

$$x_{ij} + x_{kj} \leq 1 \quad \forall i, \forall j, \forall k = 1, 2, \dots, m, \quad \text{si } c_i = \text{comestible y } c_k = \text{contaminante}$$

- Los productos que ya han sido asignados a un caddie no pueden colocarse de nuevo en otro caddie.

$$x_{ij} + x_{ik} \leq 1 \quad \forall i, \forall j \neq k$$

2.4 Uso de software

Primero, se utilizó la herramienta Microsoft Excel que facilita procesar, analizar y presentar mediante gráficos visualmente atractivos la información de este caso de estudio. Se implementó tablas dinámicas junto a gráficos dinámicos, para obtener una mejor comprensión de los datos a considerar en toda la base de datos. Todo esto fue posible, ya que Excel es una herramienta que permite el uso de múltiples fórmulas, combinar y organizar las celdas que permiten entender la situación que tiene la empresa.

Para la elaboración del algoritmo BPP, se utilizó el lenguaje de programación Python, ya que es de uso libre y gratuito que se destaca por ser flexible y multifuncional, además de disponer de una gran variedad de librerías que facilita el trabajo de programación, por lo cual es el lenguaje más ideal para la elaboración del algoritmo, por ejemplo, el uso de la librería “Pandas”, es muy útil al manejar una extensa base de datos. Python demuestra ser una herramienta eficiente para implementar algoritmos de tipo heurístico y metaheurístico para resolver problemas de optimización en casos reales.

2.5 Consideraciones legales y éticas

2.5.1 Evitar contaminación cruzada con productos contaminantes y comestibles

De acuerdo con la “Normativa técnica sanitaria sobre prácticas correctivas de higiene” (2015) establecido por el gobierno ecuatoriano, se debe considerar que la forma en la que se colocan los productos dentro del caddie debe respetar la combinabilidad de cada uno de ellos de tal forma que un producto comestible no se mezcle con un producto contaminante. Tal como lo estipula el artículo 5 de la normativa, indicando que “dependiendo de la naturaleza del producto, las operaciones y los riesgos asociados al proceso; los locales, equipos e instalaciones deben estar ubicados, diseñados y construidos a fin de garantizar que: a. La contaminación se reduzca al mínimo”.

2.5.2 Riesgo laboral (ergonomía del trabajador)

De acuerdo con la Normativa aplicable a la Seguridad y Salud en el trabajo (2016), el capítulo III especifica que “se entrenará al personal sobre el correcto manejo de levantamiento de cargas, considerando carga máxima a levantar para hombres y mujeres, según normas técnicas específicas”.

En este sentido, la ergonomía del trabajador debe ser uno de los aspectos fundamentales a tomarse en cuenta al momento de considerar al definir el peso máximo de los caddies, ya que estos deben ser manipulados y llevados a la zona de despacho por los operadores.

2.5.3 Factor económico

Actualmente, la empresa subcontrata personal para la reubicación de los productos dentro de los caddies, es decir, que contratan operadores adicionales para la realización de esta tarea. No obstante, al optimizar este proceso de ubicación de los productos dentro del

contenedor, ya no será necesario realizar esta tarea, y, por tanto, contratar más personas. De esta forma, la empresa no incurrirá en gastos adicionales por personal adicional, lo cual representará un ahorro económico en sus operaciones.

Por otra parte, también se optimizará el uso de recursos al utilizar una cantidad mínima de caddies, por lo que se aprovechará mejor el espacio de los contenedores, y así, generar un incremento económico en las operaciones.

2.5.4 Acuerdo de confidencialidad

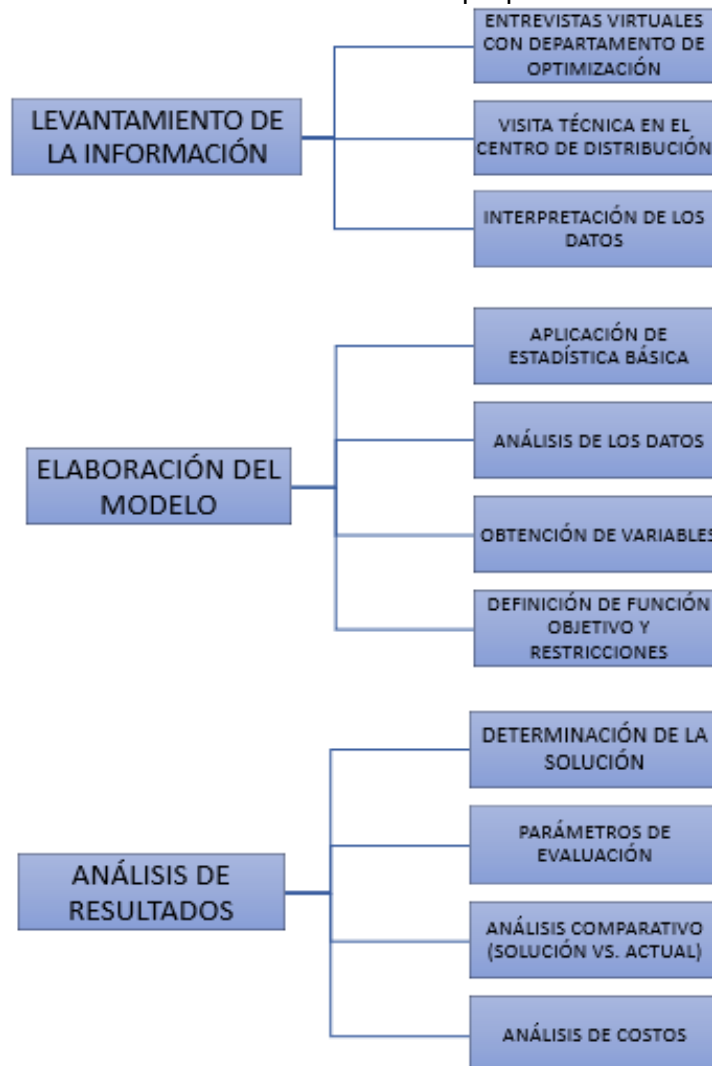
A través de un acuerdo llamado “Acta de confidencialidad y no divulgación de la información” elaborado por los representantes legales de la empresa, se estipuló que los datos que han sido entregados para la aplicación de este proyecto deben ser guardados en completa confidencialidad y sigilo, siendo así que la información debe ser utilizada únicamente con fines académicos, educativos y de investigación.

Además, los autores se comprometen a no revelar, divulgar, reproducir, modificar, publicar ya sea por medios orales, escritos, y/o tecnológicos, o facilitar la información a cualquier entidad ajena a la empresa.

2.6 Fases del proyecto

Figura 2.3 Fases del proyecto

Fuente: Elaboración propia



En la figura 2.3 se detallan las actividades que fueron realizadas durante las fases de metodología del proyecto. En primera instancia se tuvo el levantamiento de información, para lo cual se realizaron entrevistas y visitas técnicas. Posterior a esto se procedió con la segunda fase de elaboración del modelo haciendo uso de la estadística básica: porcentajes, gráficos de barras, y gráficos de pastel, además se hizo un análisis de los datos y se definió el modelo. Finalmente, se realizó un análisis de los resultados obtenidos comparándolos con los datos iniciales, y se incluyó un análisis de costos basado en la propuesta.

2.7 Cronograma de trabajo

A continuación, se muestra el plan de trabajo que se consideró para cumplir con los objetivos planteados y lograr ejecutar los planes establecidos en la metodología. Se detallan las actividades realizadas para las fases de levantamiento de información y de la elaboración del modelo.

Figura 2.4 Cronograma de trabajo

Fuente: Elaboración propia

Actividades / Semana	Mayo				Junio				Julio				Agosto			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Planteamiento de propuesta e informe ejecutivo del proyecto			■													
Diagrama de Ishikawa			■													
Definición causas raíz (5 WHYS)			■													
Entrevista con departamento de optimización			■													
Definición y descripción del problema				■												
Definición de objetivos				■												
Revisión literaria				■												
Justificación del proyecto				■												
Marco teórico				■												
Visita técnica					■											
Revisión y finalización del capítulo 1					■											
Presentación Avance 1					■											
Definición de la metodología						■										
Interpretación de los datos						■										
Tratamiento de los datos						■										
Segunda entrevista con analista de optimización							■									
Propuesta de Valor							■									
Diseño del algoritmo Bin Packing							■									
Revisión y finalización del capítulo 2								■								
Presentación Avance 2								■								
Correcciones del Avance 2									■							
Obtención de resultados									■							
Análisis de costos										■						
Comparación de resultados											■					
Revisión de resultados												■				
Conclusiones y recomendaciones													■			
Revisión final														■		
Presentación Avance 3															■	

CAPÍTULO 3

3. Resultados y Análisis

En este capítulo se dio a conocer los resultados conseguidos a través del algoritmo implementado en Python basado en las heurísticas Greedy. Uno de los resultados obtenidos a través del algoritmo fue un listado de los caddies para cada una de las olas de la semana de estudio en el cual se detallan qué productos van en el mismo. A través de este listado se pudo hacer un análisis porcentual para examinar qué tanto se estaba cumpliendo la maximización de la ocupación de los caddies. Se encontró que la gran mayoría de los contenedores que empleó el algoritmo fueron utilizados optimizando el espacio del mismo, llegando al máximo de su capacidad en volumen y peso o al menos lo suficientemente cerca de su máximo.

3.1 Análisis de resultados

En la tabla 3.1 se muestra el análisis comparativo de la cantidad de caddies que se usaron durante la semana de estudio y la cantidad de caddies que utilizó el algoritmo siguiendo los parámetros a considerar durante el despacho de productos. Se puede observar una diferencia considerable, ya que el algoritmo busca aprovechar la mayor cantidad de volumen y peso de cada caddie, evitando así la subutilización de los mismos. También se destaca un promedio de reducción del 28% de los caddies en la operación durante la semana de estudio.

Tabla 3.1 Comparación del porcentaje de peso y volumen de los caddies empleados (actual vs. propuesta) del 15/05/2023

Fuente: Elaboración propia

Fecha	Cantidad de caddies usados (situación actual)	Cantidad de caddies usados (algoritmo)	Cantidad de caddies reducidos	Porcentaje de reducción de caddies
5/15/2023	1529	1083	446	29.17%
5/16/2023	1617	1180	437	27.03%
5/17/2023	1741	1256	485	27.86%

5/18/2023	1745	1311	434	24.87%
5/19/2023	1735	1241	494	28.47%
5/20/2023	1366	975	391	28.62%
5/21/2023	1499	1093	406	27.08%
5/22/2023	11	8	3	27.27%
PROMEDIO	1405	1018	387	28%

3.1.1 Análisis de resultados de cada día

Para desarrollar un análisis comparativo más detallado, se escogió aleatoriamente dos olas de cada día de la semana de estudio para poder observar una reducción en la cantidad de caddies a utilizar.

En la tabla 3.2 se observa en el día 15 de mayo las olas 45 y 307 junto a los respectivos locales de cada una, la cantidad de caddies que usa cada uno de sus locales, así como el volumen y peso que se está ocupando en los mismos.

Tabla 3.2 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 15/05/2023

Fuente: Elaboración propia

DIA	OLA	LOCAL	CADDIES	VOLUMEN TOTAL OCUPADO	PESO TOTAL OCUPADO
5/15/2023	45	105	1	0.007456199	2.94
		147	1	0.003912512	0.6668
		154	1	0.011426903	3.9908
	307	532	1	0.74278072	277.5086
			2	0.69194292	315.001
			3	0.24034482	134.9136

Mediante los resultados obtenidos por medio del algoritmo se puede visualizar que en la ola 307 se atiende el local 532, el cual utiliza un total de 3 caddies. A su vez se visualiza que tanto el caddie 1 y 2 utilizan el máximo de su capacidad, tanto en volumen como en peso. A pesar de que el caddie 3 ocupa poco volumen esto no debe interpretarse como una baja utilización del mismo puesto que se debe a que los productos del contenedor son contaminantes y no pueden ser ubicados con los demás productos comestibles.

En la tabla 3.3 se consideraron las olas 313 y 420 junto a sus respectivos locales y la cantidad de caddies que estos utilizan en el día 16 de mayo. Los contenedores utilizados en este día utilizan gran parte de su capacidad volumétrica.

A continuación, se muestran las tablas con los resultados obtenidos del día 16, 17, 18, 19, 20, 21 y 22 de mayo, en los cuales se observa que el número de caddies utilizados es mínimo y que se maximiza su capacidad de volumen y de peso respetando sus límites.

Tabla 3.3 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 16/05/2023

Fuente: Elaboración propia

DIA	OLA	LOCAL	CADDIES	VOLUMEN TOTAL OCUPADO	PESO TOTAL OCUPADO
5/16/2023	313	171	1	0.66564672	370.0704
			2	0.667978046	350.8025
			3	0.10664	58.4
	420	596	1	0.17717796	100.0464
			2	0.600967646	220.62

Tabla 3.4 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 17/05/2023

Fuente: Elaboración propia

DIA	OLA	LOCAL	CADDIES	VOLUMEN TOTAL OCUPADO	PESO TOTAL OCUPADO
5/17/2023	312	302	1	0.650488	319.828
			2	0.6175692	182.58
	511	505	1	0.790272	42.2
			2	0.768384	126.72
			3	0.597632	98.56
			4	0.839136	154.88
			5	0.806752	58.905
			6	0.6305255	220.62

Tabla 3.5 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 18/05/2023

Fuente: Elaboración propia

DIA	OLA	LOCAL	CADDIES	VOLUMEN TOTAL OCUPADO	PESO TOTAL OCUPADO
5/18/2023	1	109	1	0.286416	140.4816
		158	1	0.8055	283.896
		359	1	0.06031872	42.24
		532	1	0.345576	37.41
		562	1	0.344448	76.935
	507	328	1	0.0067612	1.7615
		546	1	0.810669098	354.0314
			2	0.23385808	10.6308

Tabla 3.6 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 19/05/2023

Fuente: Elaboración propia

DIA	OLA	LOCAL	CADDIES	VOLUMEN TOTAL OCUPADO	PESO TOTAL OCUPADO
5/19/2023	21	105	1	0.43083048	263.918
			2	0.69132024	372.072
			3	0.66536536	363.543
			4	0.78569828	118.4316
			5	0.15700687	78.1514
		168	1	0.472460851	295.8566
			2	0.68821305	158.7628
			3	0.058238	24.73
		333	1	0.272947868	111.7016
			2	0.039619512	18.6688
		531	1	0.633507365	228.593
			2	0.622056	343.945
			3	0.58754586	288.6936
			4	0.280208543	136.4164
	544	1	0.70306501	269.5481	
		2	0.094177168	39.2696	
	5	505	1	0.790018	33.53
			2	0.782858	102.092
			3	0.746536	93.17
			4	0.77768565	101.6491
5			0.8214064	105.7933	
6			0.820181	107.0733	
7			0.796565	93.74	
8			0.0009984	0.4733	

Tabla 3.7 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 20/05/2023

Fuente: Elaboración propia

DIA	OLA	LOCAL	CADDIES	VOLUMEN TOTAL OCUPADO	PESO TOTAL OCUPADO
5/20/2023	700	700	1	0.5616	272.1
			2	0.462574	26.48
			3	0.84461	136.2
			4	0.666766	81.72
			5	0.64343	23
			6	0.633924	47.4
			7	0.7106538	25.2
			8	0.4645726	101.603
	309	302	1	0.4625964	355.281
			2	0.560163966	362.9285

Tabla 3.8 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 21/05/2023

Fuente: Elaboración propia

DIA	OLA	LOCAL	CADDIES	VOLUMEN TOTAL OCUPADO	PESO TOTAL OCUPADO
5/21/2023	91	123	1	0.8477407	92.4934
			2	0.03654963	7.178
			3	0.025431623	11.4684
		151	1	0.78969215	168.5802
			2	0.06988754	31.8679
			1	0.28972167	35.5434
	345	2	0.03814574	19.2186	
		1	0.587065313	135.904	
	392	2	0.055470872	23.2038	
		1	0.44256	27.92	
	705	700	2	0.84461	136.2
			3	0.7527621	157.28
1					

Tabla 3.9 Cantidad de caddies utilizados en dos olas del día 22/05/2023

Fuente: Elaboración propia

DIA	OLA	LOCAL	CADDIES	VOLUMEN TOTAL OCUPADO	PESO TOTAL OCUPADO
5/22/2023	42	115	1	0.466747814	224.9188
			2	0.00782877	2.8697
		187	1	0.049283472	19.3384
			2	0.023270256	9.8011
		349	1	0.015214254	6.2492
			2	0.001510979	0.3359
		709	1	0.245875954	134.9568

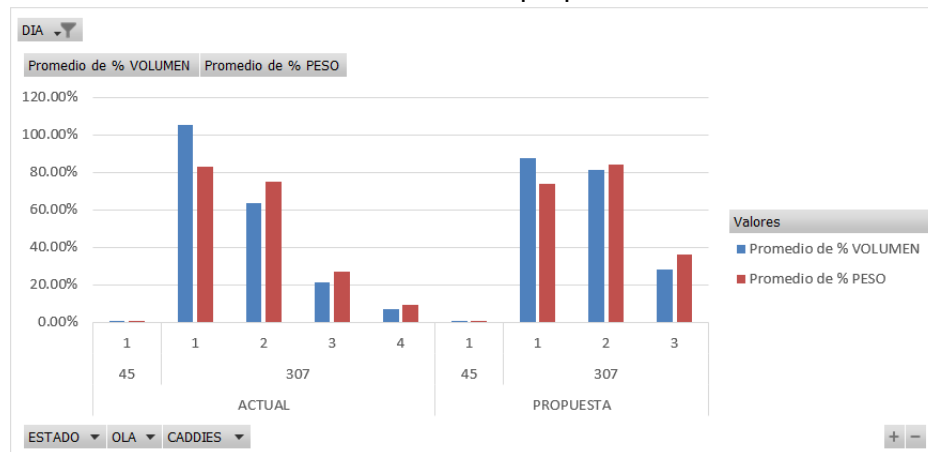
3.2 Análisis comparativo

Mediante las tablas obtenidas en el análisis de resultados, se buscó analizar el porcentaje de volumen y peso que cada caddie usa según los resultados obtenidos por el algoritmo de Greedy.

Acorde a la figura 3.1, el día 15/5/23 se puede visualizar la cantidad de caddies utilizados en la ola 307, comparando la situación actual de la empresa con los resultados del código. Se destaca un porcentaje de utilidad en los caddies del "CODIGO" a pesar de que se utilizan menos, probando así la optimización de la cantidad de caddies a usar.

Figura 3.1: Comparación del porcentaje de peso y volumen de los caddies empleados (actual vs. propuesta) del 15/05/2023

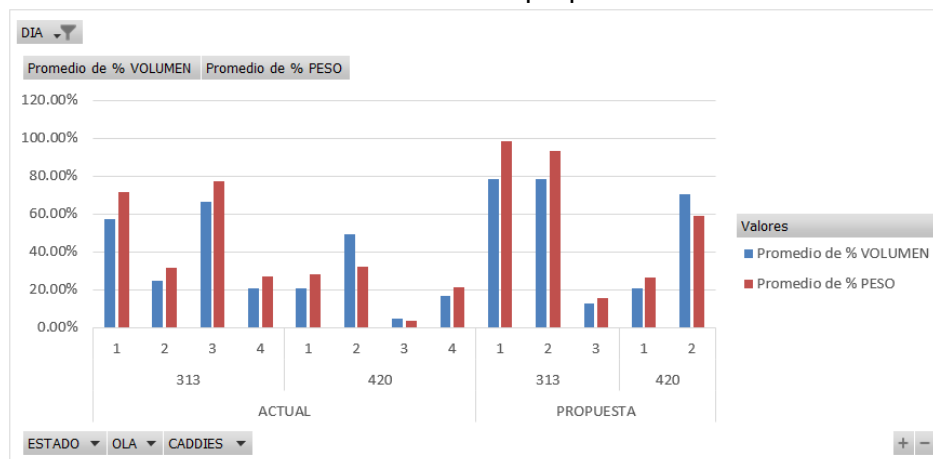
Fuente: Elaboración propia



En la figura 3.2, el día 16/05/23 se puede visualizar la cantidad de caddies utilizados en la ola 420, comparando la situación actual de la empresa con los resultados del código. Se destaca un porcentaje de utilidad en los caddies del “CODIGO” a pesar de que se utilizan menos, probando así la optimización de la cantidad de caddies a usar.

Figura 3.2: Comparación del porcentaje de peso y volumen de los caddies empleados (actual vs. propuesta) del 16/05/2023

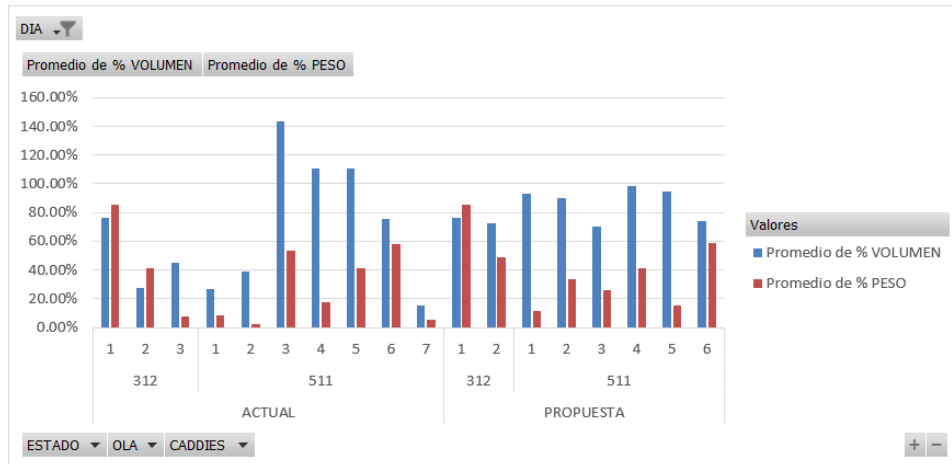
Fuente: Elaboración propia



En la figura 3.3, el día 17/05/23 se puede visualizar la cantidad de caddies utilizados en la ola 511, comparando la situación actual de la empresa con los resultados del código. Se destaca un porcentaje de utilidad en los caddies del “CODIGO” a pesar de que se utilizan menos, probando así la optimización de la cantidad de caddies a usar.

Figura 3.3: Comparación del porcentaje de peso y volumen de los caddies empleados (actual vs. propuesta) del 17/05/2023

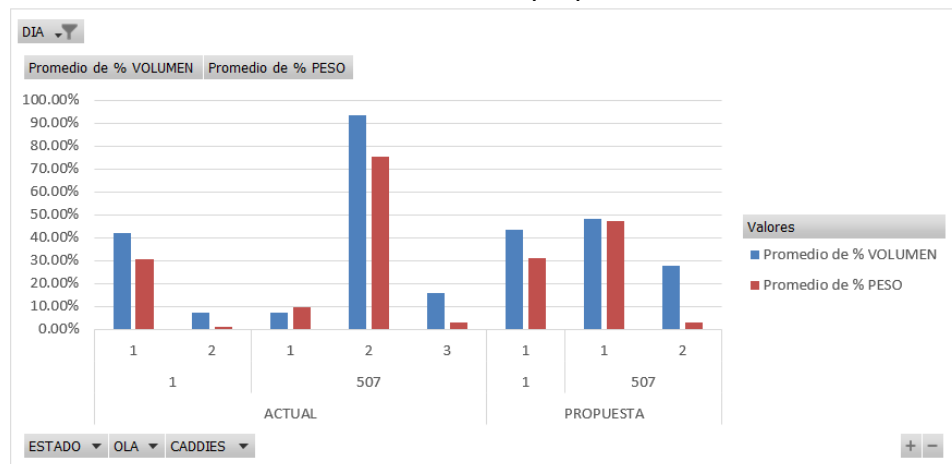
Fuente: Elaboración propia



En la figura 3.4, el día 18/05/23 se puede visualizar la cantidad de caddies utilizados en la ola 507, comparando la situación actual de la empresa con los resultados del código. Se destaca un porcentaje de utilidad en los caddies del “CODIGO” a pesar de que se utilizan menos, probando así la optimización de la cantidad de caddies a usar.

Figura 3.4: Comparación del porcentaje de peso y volumen de los caddies empleados (actual vs. propuesta) del 18/05/2023

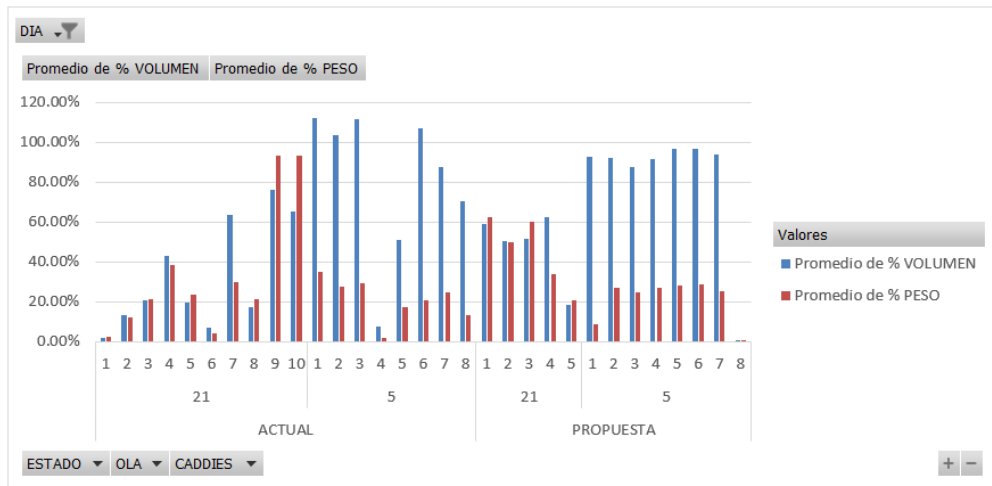
Fuente: Elaboración propia



En la figura 3.5, el día 19/05/23 se puede visualizar la cantidad de caddies utilizados en la ola 21, comparando la situación actual de la empresa con los resultados del código. Se destaca un porcentaje de utilidad en los caddies del “CODIGO” a pesar de que se utilizan menos, probando así la optimización de la cantidad de caddies a usar.

Figura 3.5: Comparación del porcentaje de peso y volumen de los caddies empleados (actual vs. propuesta) del 19/05/2023

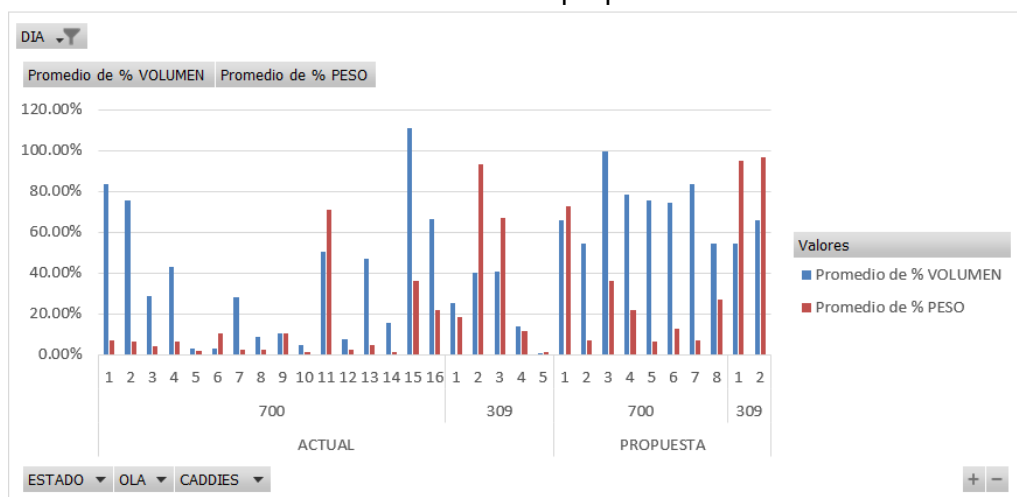
Fuente: Elaboración propia



En la figura 3.6, el día 20/05/23 se puede visualizar la cantidad de caddies utilizados en la ola 700, comparando la situación actual de la empresa con los resultados del código. Se destaca un porcentaje de utilidad en los caddies del “CODIGO” a pesar de que se utilizan menos, probando así la optimización de la cantidad de caddies a usar.

Figura 3.6: Comparación del porcentaje de peso y volumen de los caddies empleados (actual vs. propuesta) del 20/05/2023

Fuente: Elaboración propia

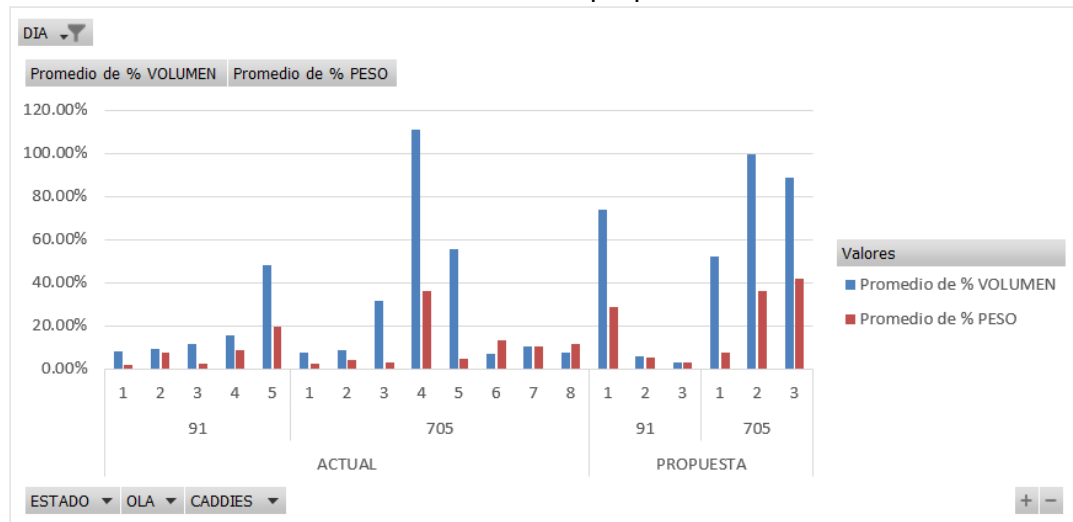


En la figura 3.7, el día 21/05/23 se puede visualizar la cantidad de caddies utilizados en la ola 705, comparando la situación actual de la empresa con los resultados del código. Se

destaca un porcentaje de utilidad en los caddies del “CODIGO” a pesar de que se utilizan menos, probando así la optimización de la cantidad de caddies a usar.

Figura 3.7: Comparación del porcentaje de peso y volumen de los caddies empleados (actual vs. propuesta) del 21/05/2023

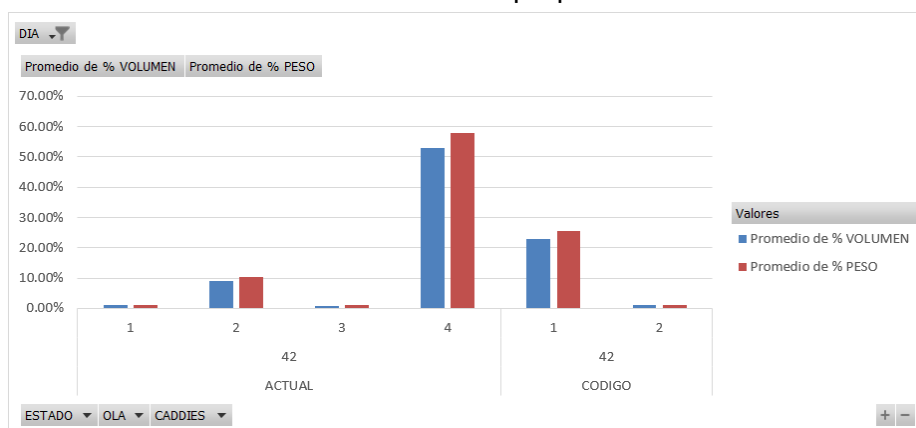
Fuente: Elaboración propia



En la figura 3.8, el día 22/05/23 se puede visualizar la cantidad de caddies utilizados en la ola 42, comparando la situación actual de la empresa con los resultados del código. Se destaca un porcentaje de utilidad en los caddies del “CODIGO” a pesar de que se utilizan menos, probando así la optimización de la cantidad de caddies a usar.

Figura 3.8: Comparación del porcentaje de peso y volumen de los caddies empleados (actual vs. propuesta) del 22/05/2023

Fuente: Elaboración propia



3.2.1 Análisis de costos

Dentro de las actividades de picking, actualmente la empresa cuenta con dos tareas principales: el llenado de los caddies (seleccionar los productos de las estanterías, colocarlos dentro de los caddies y llevarlos a la zona de despacho) y la reubicación de los productos dentro de los caddies para garantizar que utilicen su máxima capacidad.

Actualmente existen dos turnos en los que se realizan estas actividades. Los operadores de esta área trabajan durante 8 horas en cada turno. A continuación, se detallan los datos asociados a los costos de esta operación que fueron otorgados por la compañía.

Tabla 3.10 Datos del personal de picking

Fuente: Elaboración propia

	Turno 1	Turno 2
Operadores para picking	24	15
Operadores para reorden	7	5
Horas por turno	8	8

Tabla 3.11 Salarios del personal

Fuente: Elaboración propia

Salario operador picking (\$/hora)	3.78
Salario operador reorden (\$/hora)	3.78

Tabla 3.12 Cálculo de costos diarios de la situación actual

Fuente: Elaboración propia

Situación actual	Turno 1	Turno 2
Costo total de operadores picking	\$ 725.76	\$ 453.60
Costo total de operadores reorden	\$ 211.68	\$ 151.20
Costo total de operadores por turno	\$ 937.44	\$ 604.80
Costo total diario	\$ 1,542.24	

Es importante mencionar que una de las consecuencias de la optimización hecha por la heurística es que ya no es necesario tener al personal que reubica los productos dentro de los caddies. Bajo esta premisa, se elimina el costo asociado a los operadores de reorden

mencionados en la tabla 3.10. Siendo así que el nuevo cálculo de la propuesta sería el siguiente:

Tabla 3.13 Cálculo de costos diarios de la propuesta

Fuente: Elaboración propia

Propuesta	Turno 1	Turno 2
Costo total de operadores picking	\$ 725.76	\$453.60
Costo total diario	\$ 1,179.36	

Siendo así que el ahorro diario generado al comparar los costos totales de la situación actual y la propuesta sería de \$362.88. A continuación, se detallan los ahorros semanales, mensuales, y anuales en caso de aplicar la propuesta.

Tabla 3.14 Cálculo del ahorro anual

Fuente: Elaboración propia

	Actual	Propuesta	Ahorro
Diario	\$ 1,542.24	\$ 1,179.36	\$ 362.88
Semanal (L-D)	\$ 10,795.68	\$ 8,255.52	\$ 2,540.16
Mensual	\$ 47,809.44	\$ 36,560.16	\$ 11,249.28
ANUAL	\$ 573,713.28	\$ 438,721.92	\$ 134,991.36

Adicionalmente, se consideraron los costos asociados a la propuesta generada por este proyecto. Los siguientes datos de costos fijos relacionados al manejo del algoritmo fueron obtenidos a través de estimaciones de precios de servicios de luz, internet, mantenimiento y salarios dentro del Ecuador.

Tabla 3.15 Costos fijos asociados a la propuesta

Fuente: Elaboración propia

COSTO DE LA PROPUESTA	
Costos fijos	
Luz	\$ 25.00
Internet	\$ 60.00
Servicio técnico de mantenimiento	\$ 40.00
Salario empleado	\$ 500.00
TOTAL MENSUAL	\$ 625.00
TOTAL ANUAL	\$ 7,500.00

3.3 Especificaciones del prototipo

El algoritmo heurístico programado mediante el lenguaje “Python” busca reflejar los aspectos a considerar durante el despacho del producto, el parámetro más importante a tomar en cuenta durante el proceso de picking es evitar la contaminación del producto, los productos químicos o aseo no pueden ser colocados junto a los productos de comestibles en un mismo caddie, ya que esto provocaría la contaminación en los productos comestibles. Es por ello por lo que el algoritmo tiene en cuenta que las únicas combinaciones que se pueden colocar en un mismo caddie teniendo varios productos de diferentes categorías son productos de origen comestible y neutro o contaminante y neutro. Al momento que realiza la combinación de estos productos calcula cuantos caddies se utilizarán por cada local de una ola en específico permitiendo conocer cuál será la cantidad de caddies que se necesitarán.

Es importante resaltar que además de las combinaciones que refleja los resultados del algoritmo sobre los productos a colocar en un caddie, se respeta el límite de peso y volumen de estos, permitiendo así prolongar el uso de esta herramienta por más tiempo durante la operación

3.4 Diseño del prototipo

El resultado que arroja el algoritmo es el que se muestra en la imagen (#), indicando el día en el que se está aplicando el algoritmo, la ola y el local. Muestra la cantidad de caddies que se le asignarán a dicho local junto a la agrupación de productos según su categoría, después muestra un número de listas igual a la cantidad de caddies, dentro de estas se encuentran los productos solicitados por el local.

Figura 3.9 Salida de código del algoritmo de optimización heurístico Greedy

Fuente: Elaboración propia

```
Para el día: 5/15/23 en la ola 700 en el local 700 se van a separar por m3 CNTMBL+NEUTRO:  
6 CTMNT: 0  
Para CNTMBL+NEUTRO  
[410310000, 410295000, 410295000, 441601000, 414105000, 362996000, 400214000]  
[410120000, 410208000, 400168000, 400190000, 490124000]  
[410167000, 410304000, 410207000]  
[410248000]  
[410248000]  
[410248000, 494912000, 410295000]  
Para CTMNT
```

En este caso el local 700 no solicitó ningún producto de categoría contaminante “CTMNT” por lo que no se muestra una cantidad de caddies de 0.

3.5 Propuesta de valor de la solución

El problema que refleja la empresa es uno de los más comunes en bodegas o centros de distribución, pues siempre se busca la manera óptima de aprovechar los recursos y herramientas que permitan llevar a cabo el proceso de picking. Son muchas variables y restricciones que este tipo de problema tiene en la vida real, por ejemplo, las dimensiones de los objetos, su peso, si poseen un orden al ser recolectados, horarios que restringen la operación, la cantidad de operarios trabajando, e incluso en este caso los ítems se dividían por categorías con el fin de juntar los comestibles con contaminantes. Es por ello por lo que en el modelo matemático y posteriormente en el algoritmo se consideraron variables como la fecha, categoría del producto, características del producto como volumen y peso y restricciones como la capacidad y peso máximo del caddie. A pesar de que aparentan ser pocas restricciones llevar esto a un modelo y programarlo es un desafío puesto que, lo que se busca es mejorar la situación actual con las limitaciones necesarias para tener una solución. Este algoritmo serviría como una herramienta para poder realizar un proceso de picking sistematizado, evitando que se vuelva a realizar de manera empírica el llenado de caddies por operarios, de tal forma que se priorice la seguridad de los trabajadores y no se inviertan horas de trabajo en recolocar los productos cuando estos ya estén recolectados.

CAPÍTULO 4

4. Conclusiones y recomendaciones

Este capítulo sintetiza los resultados y hallazgos obtenidos a través de la heurística aplicada a la información facilitada por la empresa. En definitiva, se consiguió cumplir con los objetivos planteados al inicio de este proyecto, puesto que se consideraron los factores que impiden el llenado óptimo de los caddies, se determinaron las variables que influyen en el proceso, se implementó el algoritmo heurístico y se compararon los resultados alcanzados a través del mismo. En el siguiente punto se detallan algunas de las conclusiones más trascendentales del proyecto.

4.1 Conclusiones

1. A partir de los resultados obtenidos en el algoritmo, no solamente se cumple la maximización de la ocupación de los caddies, sino también se disminuyó considerablemente el número de caddies necesarios para atender los pedidos de los locales.
2. A pesar de que en la situación actual de la empresa no se respetan los límites de capacidad del caddie, utilizar un algoritmo que esté basado en una heurística greedy, garantiza que las restricciones mencionadas se cumplan a cabalidad.
3. La propuesta de este proyecto permite que el proceso de llenado de caddies sea más automatizado y eficiente, evitando así que alguna subjetividad pueda interferir en esta tarea, como solía suceder cuando este proceso era realizado por el mismo personal.

4. Este proyecto no solamente genera ganancias tangibles como lo es la notable reducción de caddies necesarios y el ahorro a nivel económico, si no también ganancias intangibles como lo es mejorar la ergonomía de los operadores que llevan los caddies a la zona de despacho garantizando que el peso de los mismos sea adecuado.

4.2 Recomendaciones

1. Este proyecto utilizó una base de datos extensa correspondiente a una semana de pedidos atendidos por el centro de distribución. Esto generó que las salidas de los programas que fueron utilizados para el desarrollo del mismo sean un poco tardías. Por lo tanto, para períodos de tiempo más extensos se recomienda usar una herramienta de Big Data que permita procesar los datos de manera más sencilla como Hadoop o Spark.
2. En el tratamiento de los datos se reconocieron algunos productos cuyas dimensiones sobrepasaban los límites indicados previamente sobre la capacidad de volumen y de peso del caddie. Por lo tanto, se sugiere que para estos casos se considere un margen de error dentro del algoritmo de optimización que permita que las soluciones obtenidas contemplen este inconveniente.
3. Debido a que el alcance del proyecto se limitaba al llenado de los caddies de manera óptima, una extensión de este problema puede relacionarse al cálculo de la distancia recorrida por el operador encargado del picking por medio de un algoritmo más holístico que comprenda el llenado de caddies y la ruta requerida para el mismo.

BIBLIOGRAFÍA

Chen, M., Huo, J., & Duan, Y. (2023). A hybrid biogeography-based optimization algorithm for three-dimensional bin size designing and packing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 109239. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109239>

Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., & Stein, C. (2022). *Introduction to Algorithms, fourth edition*. MIT Press.

Dirección Ejecutiva De La Agencia Nacional De Regulación, Control Y Vigilancia Sanitaria- Arcsa. (2015). Normativa técnica sanitaria sobre prácticas correctivas de higiene. *LEXIS*. <https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/02/NORMATIVA-TECNICA-SANITARIA.pdf>

Feo, T. A., & Resende, M. G. C. (1995). Greedy Randomized Adaptive Search Procedures. In *Kluwer Academic Publishers eBooks* (pp. 219–249). https://doi.org/10.1007/0-306-48056-5_8

García, L. a. M. (2011). *Gestión logística en centros de distribución, bodegas y almacenes*. Ecoe Ediciones.

Guerra-Olivares, R., González-Ramírez, R. G., & Smith, N. (2015). A Heuristic Procedure for the Outbound Container Relocation Problem during Export Loading Operations. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2015/201749>

IESS. (2016, March 4). Normativa aplicable a la Seguridad y Salud en el trabajo. *IESS Seguro General De Riesgos Del Trabajo*. https://sart.iess.gob.ec/DSGRT/norma_interactiva/IESS_Normativa.pdf

Munien, C., & Ezugwu, A. E. (2021). Metaheuristic algorithms for one-dimensional bin-packing problems: A survey of recent advances and applications. *Journal of Intelligent Systems*, 30(1), 636–663. <https://doi.org/10.1515/jisys-2020-0117>

Sandoya, F. (2023). *Metaheurísticas Herramientas inteligentes para resolver problemas complejos*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Tole, K., Moqa, R., Zheng, J., & He, K. (2023). A Simulated Annealing approach for the Circle Bin Packing Problem with Rectangular Items. *Computers & Industrial Engineering*, 176, 109004. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109004>