

Trabajo de grado en modalidad de aplicación

Planeación de compras y distribución de productos perecederos en tiendas minoristas

Paula Daniela González Dueñas^{a,c}, María Camila Orozco Jiménez^{a,c}, Daniela
Robayo Triana^{a,c},
Julián David Reyes Rueda^{b,c}.

^aEstudiante de Ingeniería Industrial

^bProfesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial

^cPontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Abstract

This study presents the design of an integrated solution for the procurement planning, location of the inventory stored in the warehouse and distribution of perishable products to the retailers of the company Almacenes Súper Día S.A. The first part of the design, procurement planning, responds to the problem of the lack of adequate scheduling of supply. Currently, the process of purchasing products is done empirically without considering appropriate guidelines according to the demand and opportunity costs for products missing from the shelves. The solution proposed to this problem corresponds to the use of a lot for lot replenishment model that takes into account these last parameters. The second part of the design corresponds to the definition of the physical location of the inventories stored in the warehouse. In the present situation, the work done by the operators when loading the products and transporting them from the entrance to the space destined for their location and from the storage area to the exit for their distribution is not currently considered. Finally, the third part of the design focuses on the determination of the distribution of products from the warehouse to the different points of sale, responding to the need to satisfy the demand of each retailer.

The methodology used consists of five phases: in the first phase, forecasts are made considering the historical demand of each month to determine the requirements of January, February and March of the year 2018. Then, the behavior of the demand for each reference is established for determining the best fitting distributions. In the second phase, a survey is conducted to determine which products were considered missing and the costs related to having insufficient quantities with respect to the behavior of consumers. In the third phase, the mathematical model is carried out to determine whether the design of the purchasing plan, the physical location of the products and the distribution of products to points of sale corresponded to an NP-Hard problem, which would lead to the development of a metaheuristic. In the fourth phase, a tabu metaheuristic is developed to determine the quantities to be bought, stored and sent to the points of sale during the three months of study. Subsequently, a metaheuristic genetic algorithm is carried out to determine the physical location of the products in the main warehouse. Finally, in the fifth phase, a comparison is made for each the following: the estimated demands with respect to the actual demands, the work done by the operators with the location proposed by the application and the current location, and the design of purchases, storage and distribution to points of sale raised by the application with respect to the actual information.

The results obtained are divided into four phases: first, the comparison of the mathematical model and the application is made, where it is obtained that the application is greater by 8.33% with respect to the objective function of the mathematical model. The above is due to a greater number of products to store and the existence of missing shelves. Secondly, the comparison of the predicted demands with the real demands is developed, where diverse results are obtained with respect to each retailer since in 35% of the products an error of more than 50% was obtained due to the variability of the demand. Third, the actual and proposed purchase plan is compared, giving as a best option the proposal of the application. The foregoing is evidenced in the amount of shortfalls generated using both purchasing plans. Finally, the distances traveled are compared taking into account the current storage and the proposed storage, obtaining that the proposed location decreases by 13.74% the total distance traveled by the operator.

As a conclusion, it is determined that the application presents an efficient and effective solution for Almacenes Súper Día S.A. to planning purchases, storage and distribution; decreasing in this way the total work done by the operators and the lack of products on the stores.

Keywords: Meta-heuristics, genetic algorithm, procurement planning, distribution plan, physical location in warehouses.

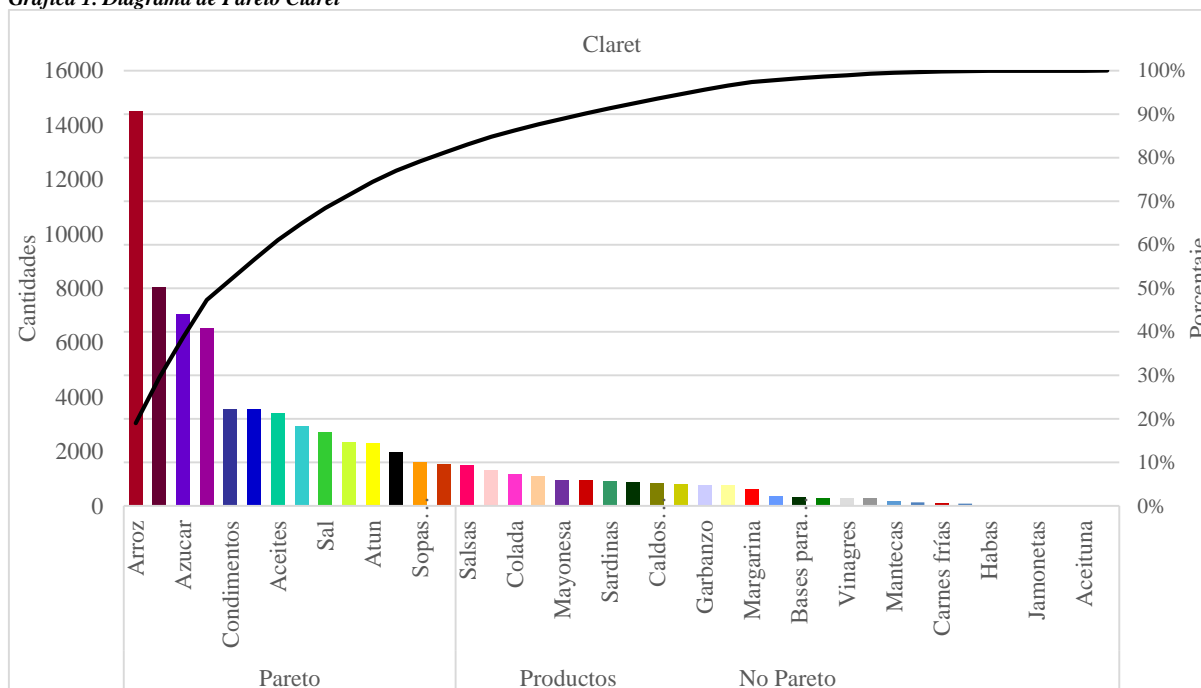
1. Justificación y planteamiento del problema

Almacenes Súper día S.A. es una cadena de tiendas minoristas que se dedica a la comercialización de productos de la canasta familiar, víveres, cuidado personal y cuidado del hogar. Actualmente, cuenta con tres puntos de venta en la ciudad de Bogotá (San José, Candelaria y Claret) y tres bodegas localizadas cerca al minorista ubicado en el barrio el Claret. De acuerdo con la entrevista realizada al gerente de compras y gerente general, los procesos de compras no se encuentran alineados con la demanda. Adicionalmente, no existe planeación de la distribución de las bodegas hacia los diferentes puntos de venta y carecen de lineamientos para la ubicación física y control de inventarios de los productos en las mismas. Lo anterior, debido a que se basan primordialmente en la experiencia de los trabajadores a cargo de estos procesos, ocasionando problemas como faltantes o abastecimientos de refuerzo, incurriendo en costos que no se logran determinar.

La entrevista realizada, permite identificar la problemática existente respecto a los productos que la empresa compra, almacena y distribuye a los diferentes puntos de venta. De acuerdo con lo anterior, se establecen criterios de selección con el fin de determinar el segmento de productos sobre los que se realizará el estudio. El primero de ellos corresponde al carácter perecedero de los artículos, particularmente, alimentos. Y, en segundo lugar, el impacto de las ventas sobre las utilidades de Almacenes Súper día.

Por lo anterior, para la definición de los productos de estudio se realiza un análisis Pareto de la rotación de estos correspondientes al primer semestre del año 2017 de los puntos de venta Claret, Candelaria y San José. A continuación, se presenta el diagrama de Pareto correspondiente al punto de venta Claret.

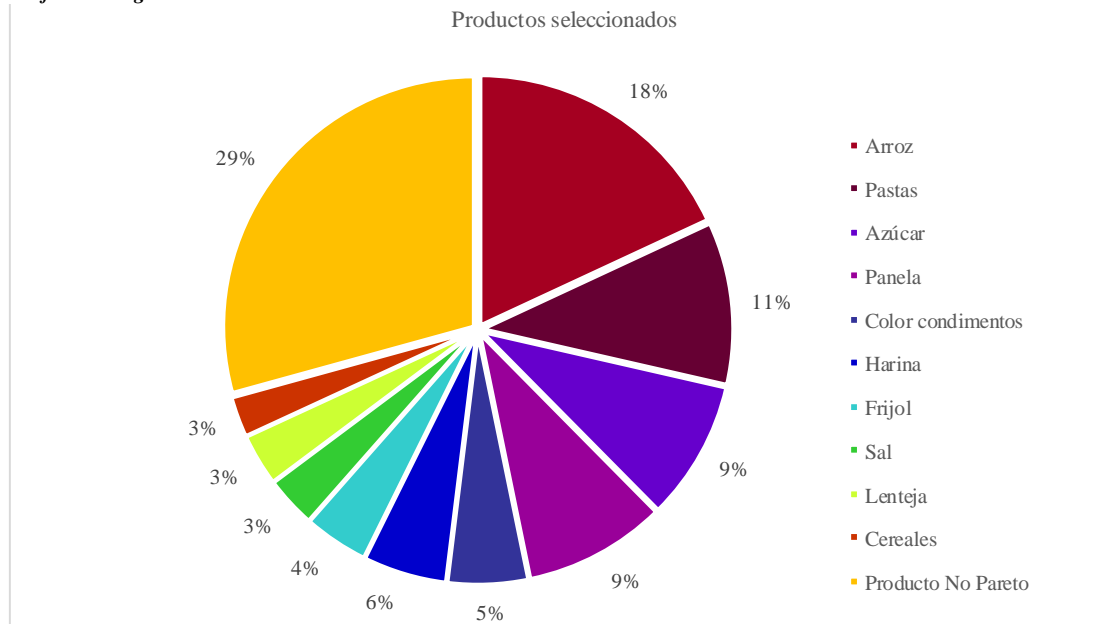
Grafica 1. Diagrama de Pareto Claret



Fuente: construcción de las autoras.

Los diagramas de Pareto correspondientes a los puntos de venta San José y Candelaria se encuentran en el anexo 1. A partir de las gráficas anteriores, se logran identificar productos en común que se encuentran incluidos en el 80% de las ventas en los tres almacenes, los cuales se presentan en la siguiente gráfica.

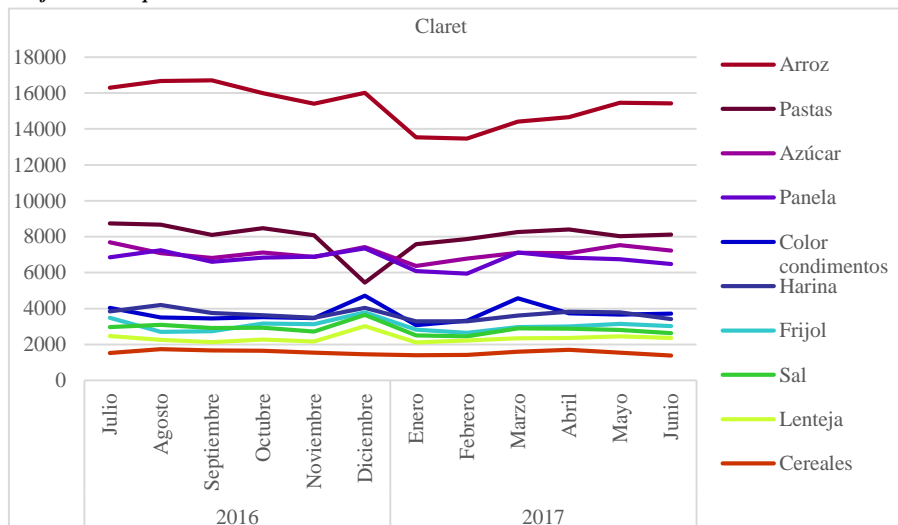
Gráfica 2. Diagrama de Torta.



Fuente: construcción de las autoras.

Luego de la comparación se observa que el 71% del total de artículos serán objeto de estudio. Cabe resaltar, que Almacenes Súper Día no cuenta con un proceso de compras alineado con la demanda a pesar de contar con registros de las ventas mes a mes. Los datos históricos de las ventas registradas de dichos productos durante un año en el almacén Claret se presenta a continuación.

Gráfica 3. Comportamiento de la demanda Claret.



Fuente: construcción de las autoras.

De lo anterior, se puede decir que existen picos en nueve de las diez familias seleccionadas durante el mes de diciembre. Esto se debe a la tendencia de compra de la época navideña por lo que debe ser considerado en el cálculo de los pronósticos de demanda.

Las gráficas correspondientes a los puntos de venta San José y Candelaria se encuentran en el anexo 1.

Con base en lo anterior, es posible generar modelos que permitan a la empresa la estimación de la demanda. Así mismo, como consecuencia de la ausencia de proyección de la demanda, se generan faltantes que originan costos de oportunidad no estimados, lo que puede afectar el margen de utilidad esperado por la gerencia el cual se encuentra actualmente entre 10-12%.

A partir de la planeación y el planteamiento del modelo matemático, se determina que es necesario incluir cada referencia clasificada en cada una de las 10 familias de productos seleccionados. Lo anterior, debido a que el costo de oportunidad difiere entre las referencias.

Adicionalmente, La empresa ubica los artículos sin contar con el análisis de los requerimientos en el almacenamiento y rotación de estos, acorde con la capacidad de la bodega. Lo anterior implica la inexistencia de procesos de picking y almacenamiento que estén alineados con la gestión de demanda y el ciclo de pedido para las referencias manejadas por la empresa.

Imagen 1. Bodegas Almacenes Super Día.



Fuente: capturadas por las autoras.

Imagen 2. Estibas con productos desordenados.



Finalmente, Almacenes Súper día realiza la distribución de artículos desde las bodegas a los puntos de venta, bajo el criterio de un empleado. Éste visita semanalmente los locales y estima de forma intuitiva, la cantidad de producto que debe ser transportada. Así mismo, el surtidor de cada punto de venta notifica a este empleado si hubo faltantes en estantería en la semana y, en virtud de ello, se realizan modificaciones a los pedidos a las bodegas. En ocasiones, dicha modalidad de distribución presenta estimaciones de demanda erróneas que generan una variabilidad no controlada de la demanda. Lo anterior se explica, debido a que, al notificarse faltantes en algún punto de venta, se acude a refuerzos de abastecimiento, incurriendo en costos de transporte adicionales. Para llevar a cabo la distribución, se debe tener en cuenta que la empresa transporta los productos a los puntos de venta Candelaria y San José por medio de un camión de ocho toneladas y, en el caso del Claret, el transporte de mercancía se ejecuta a través de una carretilla por su cercanía a las bodegas.

Imagen 3. Carretilla para transportar productos a Claret



Fuente: capturadas por las autoras.

Imagen 4. Camión para distribución de productos



Basado en las necesidades de la empresa y sus puntos de venta, el proceso de gestión de pedido para cada una de las referencias y las operaciones en el centro de distribución, el presente trabajo busca dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo mejorar la utilidad en Almacenes Súper Día de modo que se minimicen los artículos faltantes y los costos asociados a abastecimientos de refuerzo en los puntos de venta, teniendo en cuenta las características de los alimentos escogidos?

2. Antecedentes

Las decisiones logísticas respecto al abastecimiento, almacenamiento y distribución afectan directamente la gestión de Almacenes Súper Día. Con el fin de analizar los aspectos relevantes de la toma de decisiones para optimizar dichos procesos, se presentan estudios realizados por diversos autores. Estos estudios contienen el mismo enfoque de las problemáticas identificadas en esta empresa, empleando diferentes metodologías que en ocasiones conllevan a distintas conclusiones. Algunas de estas investigaciones, se exponen en las siguientes tablas, las cuales resumen la problemática, las técnicas de solución adoptadas por los autores y el resultado obtenido, para los cinco temas de interés del presente estudio: estimación de la demanda, costo de oportunidad, planeación de compras, la ubicación de existencias en bodegas y la distribución de productos a puntos de venta. Es importante aclarar que las estimaciones de demanda y costo de oportunidad son relevantes para realizar la planeación de compras.

Plan de compras

Artículo	Problema que soluciona	Solución
Multi-time scale procurement planning considering multiple suppliers and uncertainty in supply and demand (Shin & Lee, 2016)	Control de inventarios para el suministro de materias primas procedente de múltiples proveedores.	Se formulan las adquisiciones como un MDP, es decir como un proceso de decisión de Markov, que permite incorporar la oferta y la incertidumbre de la demanda. El modelo de planificación se integra con un modelo MIPL, reduciendo el costo.
Aggregate procurement, production, and shipment planning decision problem for a three-echelon supply chain using swarm-based heuristics (Pal, Chan, Mahanty, & Tiwari, 2011)	Minimizar costos de producción, costos de compras, costos de inventario, costo de transporte, costo de pedido.	Tiene como parámetros del sistema información sobre la capacidad del inventario, plazo de entrega de los proveedores y de transporte, la demanda de cada producto en los centros minoristas y el stock de seguridad, a través de la optimización de enjambre PSO.

Tabla 1. Artículos plan de compras

Estimación de la demanda

Artículo	Problema que soluciona	Solución
Demand Estimation and Assortment Optimization Under Substitution: Methodology and Application (Fisher, Kök, & L., 2007)	La planificación de la venta en un minorista implica tanto seleccionar el conjunto de productos que se van a transportar como establecer niveles de inventario para cada producto.	Se desarrolla un proceso algorítmico para ayudar a los minoristas a calcular el mejor surtido para cada tienda. Se presenta un procedimiento para estimar los parámetros de comportamiento de sustitución y la demanda de productos en cada tienda.

Tabla 2. Artículos estimación de demanda

Costo de oportunidad

Artículo	Problema que soluciona	Solución
El costo de oportunidad de la mano de obra familiar en la economía de la producción lechera de Michoacán, México (Jiménez Jiménez, Espinosa Ortiz, & Soler Fonseca, 2014)	Analizar los factores asociados a la variación del margen de utilidad y la influencia del costo de oportunidad de la mano de obra familiar en las utilidades económicas de la lechería familiar.	El costo de oportunidad de la mano de obra se estableció a partir de las opciones laborales de los miembros familiares que participan en la actividad de acuerdo con la localización de las oportunidades laborales. Se empleó el método de selección de variables por pasos (Stepwise).
costos de oportunidad de vacas gestantes sacrificadas en un rastro de Veracruz, México (Fernández, et al.)	determinar el costo asociado al sacrificio de vacas gestantes y su repercusión económica	Costo de Oportunidad = $N * P$ Donde: N: Es el número de animales obtenidos y P: Precio estipulado por la secretaría de economía.

Tabla 3. Artículos costo de oportunidad

Ubicación física de inventario en bodega

Artículo	Problema que soluciona	Solución
Multicriteria Decision Model to Support the Assignment of Storage Location of Products in a Warehouse (da Silva, Veloso Caldas de Vasconcelos, & Virginio Cavalcante, 2015)	Almacenamiento eficiente de productos dentro del almacén de la empresa a partir de múltiples criterios.	Estándar de almacenamiento adoptado está basado en el orden descendente de los valores globales del método SMARTER y la priorización establecida por el método lexicográfico.
Detailed design of fishbone warehouse layouts with vertical travel (Cardona, Soto, Rivera, & Martínez, 2015)	Se quiere minimizar el costo operacional total del almacén.	Este método toma la capacidad de almacenamiento deseada y devuelve la ubicación de cada apertura del almacén. Se resuelve el modelo de optimización utilizando un algoritmo genético.

Tabla 4. Artículos ubicación física de inventario en bodega

Distribución desde bodegas hasta puntos de venta

Artículo	Problema que soluciona	Solución
A Combined Inventory Routing and Game Theory Approach for a Real-World Distribution Problem (Mateo, Aghezzaf, & Vinyes, 2009)	Plan de distribución para reponer el inventario en los puntos de venta involucrados y luego juntarlos en grupos dispuestos a cooperar y compartir parte de sus existencias.	Modelo de programación mixta que determina el plan de distribución de mercancía. Utiliza juegos cooperativos, para estimar el costo de oportunidad de mantener inventario y venderlo si es necesario, a cualquier otro punto de venta.
Multi-commodity warehouse location and distribution planning with inventory consideration (Askin, Baffo, & Xia, 2014)	Diseñar una red de distribución para un proveedor logístico que adquiere productos de múltiples instalaciones y luego entrega esos productos a muchos puntos de venta.	Modelo de localización de instalaciones de consolidación y asignación de demanda que busca minimizar el costo total incluyendo: costos fijos de ubicación de almacenes, de inventario regular, de inventario de seguridad, de pedido y de transporte. Lo anterior mediante heurística greedy.

Tabla 5. Artículos distribución desde bodegas hasta puntos de venta

Según la información recopilada en las tablas anteriores, se logra determinar que ningún autor aborda de forma integral los temas de interés para la gestión de los procesos logísticos. Sin embargo, para el estudio, se tendrá en cuenta el concepto extraído del artículo “costos de oportunidad de vacas gestantes sacrificadas en un rastro de Veracruz, México” que está relacionado con una temática del estudio. Esta es:

- Métodos de estimación para determinar costos de oportunidad.

Además, para la planeación de compras se realiza una búsqueda en la literatura para determinar qué modelos matemáticos o heurísticas se usan de manera frecuente para solucionar esta problemática, dicha comparación se muestra en la Tabla 6.

Artículo	Problema que soluciona	Solución
Model and metaheuristics for a scheduling problem integrating procurement, sale and distribution decisions (Simon Thevenin, 2017)	Se propone un enfoque para integrar las decisiones de compra, venta y distribución dentro de la programación	Se emplea una heurística constructiva codiciosa, dos metaheurísticas de búsqueda tabú logrando una reducción de costos perdidos.
Designing and planning a multi-echelon multi-period multi-product closed-loop supply chain utilizing genetic algorithm (Soleimani, Seyyed-Esfahani, & Shirazi, 2013)	Diseñar y planificar una cadena de suministro en circuito cerrado en una estructura integral desarrollando un modelo extendido, que es multi-escalón, multiproducto y multi-período.	El modelo propuesto es resuelto por el software de optimización CPLEX y por un algoritmo genético desarrollado. Durante este análisis computacional, se comparan los resultados de la propuesta de algoritmo genético pretuned con un óptimo global de solver CPLEX.

Tabla 6. Heurísticas y modelos para plan de compras

Para la ubicación física en bodegas se determina que el algoritmo genético genera buenos resultados para la distribución en el layout. Esto se debe a que permite una mayor diversificación generando un amplio número de combinaciones, como se muestra en el artículo seguidamente:

Artículo	Problema que soluciona	Solución
Genetic Algorithm–Simulation Framework for Decision Making in Construction Site Layout Planning (Reza, Alavi, & Rizk, 2017)	Determinar un adecuado espacio para proyectos de construcción para todas las instalaciones o ubicación en lugares adecuados.	Se emplea algoritmo genético y simulación para la toma de decisiones para la planificación de la disposición del sitio.

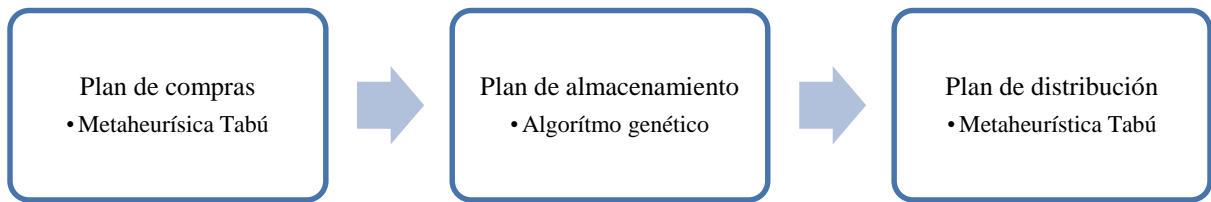
Tabla 7. Algoritmo genético para ubicación física

Finalmente, en el caso de la distribución de productos hacia puntos de venta, se escoge la metaheurística tabú ya que como se muestra a continuación, proporciona buenas soluciones y es muy utilizado para la resolución de esta problemática.

Artículo	Problema que soluciona	Solución
A tabu search procedure for coordinating production, inventory and distribution routing problems (Armentanob, 2009)	Coordinar de manera óptima un sistema de producción-distribución en un período múltiple definiendo cuándo se debe visitar a los clientes y la cantidad de cada elemento que debe ser entregado a los clientes	La metodología utilizada fue la búsqueda tabú con el fin de obtener una solución económica global. Los resultados para este problema muestran que cualquier cantidad entregada positiva entre el nivel de inventario límite inferior y superior de los clientes aumentan la flexibilidad.

Tabla 8. Tabú distribución de productos hacia puntos de venta

A partir de la información recolectada se presenta un esquema que permite identificar la selección de metaheurísticas para resolver las problemáticas planteadas:



Para el desarrollo del pronóstico de demanda los integrantes formularán una metodología habitual para su determinación teniendo en cuenta cuál se ajusta más a su comportamiento.

3. Objetivos

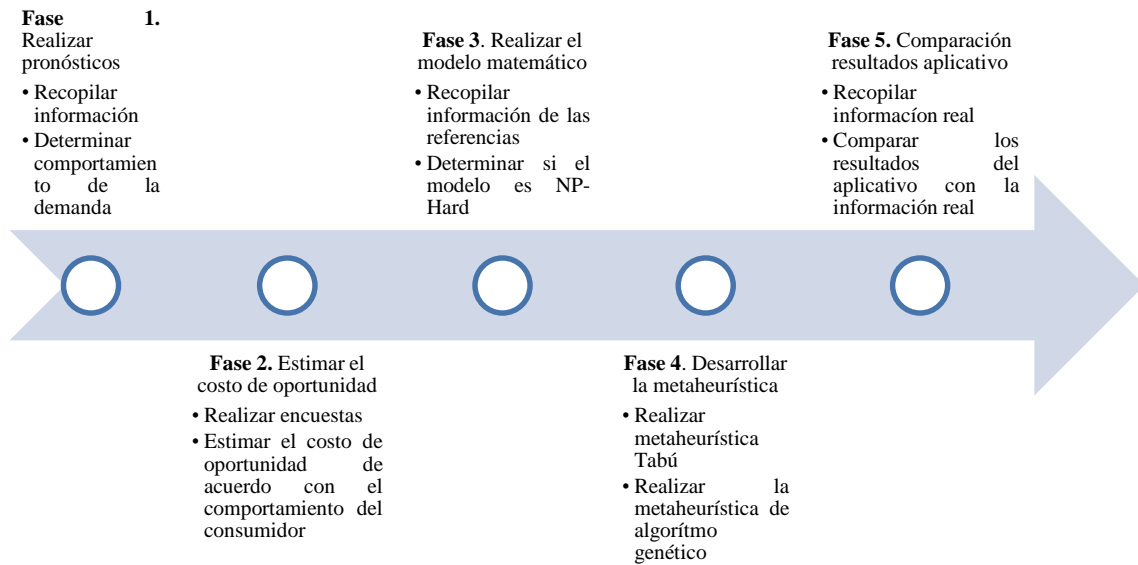
Diseñar una solución integrada que permita planificar la gestión de compras, el manejo de existencias en bodega y la distribución de los productos hasta los puntos de venta de Almacenes Súper Día.

1. Realizar el pronóstico de demanda a partir del cual se realizará el plan de compras.
2. Estimar el costo de oportunidad asociado a faltantes para el control de inventario.
3. Diseñar el plan de compras de Almacenes Súper Día.
4. Determinar la ubicación física de los productos en bodegas.
5. Formular el plan de distribución de productos a puntos de venta.
6. Medir el impacto del aplicativo en la compañía.

4. Metodología

Para desarrollar la metodología, se llevaron a cabo cinco fases las cuales se relacionan con los 6 objetivos. En la primera fase, se realizaron los pronósticos de demanda de los meses enero, febrero y marzo del año 2018. Para esto, se recopiló información de diferentes periodos de demanda en los tres puntos de venta que corresponden a Claret, Candelaria y San José. Con la información obtenida, se determinó el comportamiento de la demanda de las diferentes referencias obteniendo las distribuciones más adecuadas para cada una de ellas. En la segunda fase, se realizó una encuesta a los clientes para determinar de qué productos se percibían faltantes y los costos relacionados a tener cantidades insuficientes de productos respecto al comportamiento de los consumidores. En la tercera fase, se realizó el modelo matemático para determinar si el diseño del plan de compras, ubicación física de los productos y distribución de productos a puntos de venta correspondía a un problema NP-Hard lo que llevaría a desarrollar una metaheurística. En la cuarta fase, se desarrolló una metaheurística tabú para determinar las cantidades a comprar, almacenar y enviar a los puntos de venta durante los tres meses de estudio. Posteriormente, se llevó a cabo una metaheurística de algoritmo genético para determinar la ubicación física de los productos en la bodega principal. Finalmente, en la quinta fase se realizó la comparación de las demandas estimadas respecto a las demandas reales, el trabajo realizado por los operarios con la ubicación planteada por el aplicativo y la ubicación actual y, el diseño de compras, almacenamiento y distribución a puntos de venta planteados por el aplicativo respecto a la información real. En la gráfica 4 se presenta el resumen de la metodología:

Gráfica 4. Resumen metodología.



Fuente: construcción de las autoras.

4.1. Pronósticos de demanda

Para determinar los pronósticos de demanda de las referencias de interés, se desarrollan los siguientes pasos:

1. Se recolectan datos que representen el comportamiento de los productos en los últimos años.
2. Se identifican las variables dependientes y las variables independientes de los datos. En este caso, la variable independiente hace referencia a las semanas o periodos y las variables dependientes son los productos a los cuales se les quiere realizar el pronóstico.
3. Se analiza la serie de tiempo según los datos históricos proporcionados por la empresa Almacenes Súper Día S.A.
4. Se verifican los criterios de nivel, estacionalidad, tendencia y de aleatoriedad de los datos.
5. Se encuentra el método de pronóstico que más se adecua al comportamiento de la serie de tiempo asociados a los criterios evaluados. Es importante tener en cuenta que, por medio del análisis de la serie de tiempo, existen métodos de pronóstico de carácter estacionario, de proyección con tendencia y estacional. Para las series de tiempo estacionarias se conocen métodos como el promedio móvil, suavización exponencial simple, promedios móviles ponderados, entre otros. Para las series de tiempo con tendencia se tienen métodos de pronósticos como la regresión lineal y la suavización exponencial doble. Finalmente, para series de tiempo que incluyen un carácter estacional se tienen los modelos de Winters (aditivo y multiplicativo) o también llamada suavización exponencial triple y los modelos ARIMA y Brown que verifica los patrones estadísticos para hacer las predicciones futuras.
6. Se determinan los parámetros del método de pronóstico, minimizando el error absoluto medio porcentual.
7. Se realiza el pronóstico.
8. Se evalúa el modelo a través del error del pronóstico respecto al dato real.

Teniendo en cuenta el procedimiento anterior, se utiliza un software estadístico para que verifique el comportamiento de las series de tiempo y realice los pronósticos según los criterios evaluados.

Con el fin de que Almacenes Súper Día pueda calcular los pronósticos de meses posteriores, en el anexo 2 se encuentra el instructivo para usar el software estadístico.

Los resultados de los pronósticos se presentan en el anexo 3.

4.2. Costo de oportunidad

Inicialmente se realiza una encuesta piloto a 30 personas que compran en alguno de los tres Almacenes Súper Día. Lo anterior, con el fin de determinar si el diseño de la encuesta es adecuado y responde al objetivo principal de su aplicación. Al realizar el análisis respectivo, se obtiene que el 86,7% de las personas consideran que las existencias en estanterías son suficientes, lo que indica que un 13,3% ha percibido faltantes.

Posteriormente, se aplica la encuesta modificada a 70 personas que compran en alguno de los tres Almacenes Súper Día, este número se calcula a partir de una significancia del 8% usando la siguiente fórmula:

$$N = \frac{\pi(1 - \pi) * Z^2}{D^2}$$

En donde:

D: Es la diferencia máxima permitida (D) entre la media de la muestra y la media de la población.

π : Proporción de personas que perciben que las existencias en los estantes son suficientes.

Z: Valor asociado al nivel de confianza escogido correspondiente al 95%.

$$N = \frac{0.867(1 - 0.867) * 1.96^2}{0.08^2}$$

$$N = 69,21 \approx 70 \text{ Encuestas}$$

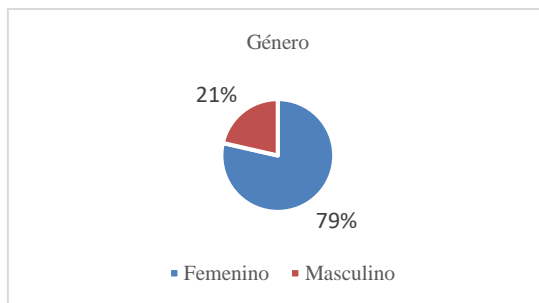
Adicionalmente, se realizan las encuestas durante los siete días de la semana en diferentes franjas horarias cada uno, hasta completar un número aproximado de tres formularios por punto de venta.

A partir de la información obtenida, se determina que existen tres costos de oportunidad asociados al comportamiento de los clientes correspondientes al producto faltante, compra total del cliente y pérdida del cliente.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la encuesta:

- En promedio, el 79% de personas que visitan Súper Día son mujeres, lo anterior de acuerdo con el número de mujeres encuestadas.

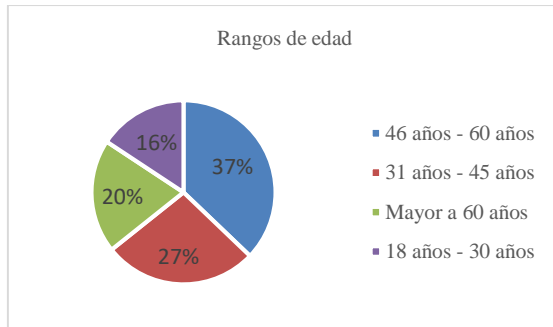
Gráfica 5. Diagrama de torta género.



Fuente: construcción de las autoras.

- A continuación, se presenta el gráfico de pastel para las edades de los encuestados:

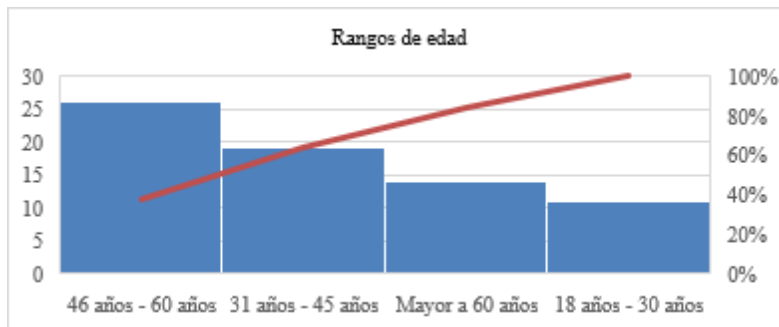
Gráfica 6. Diagrama de torta rangos de edad.



Fuente: construcción de las autoras.

De lo anterior, se infiere que la mayor parte de las personas que visitan el almacén corresponde a aquellos que se encuentran entre los 46 y 60 años.

Gráfica 7. Diagrama de Pareto rangos de edad.

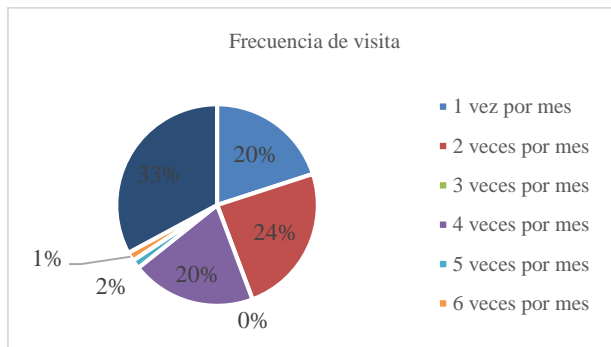


Fuente: construcción de las autoras.

En promedio, el 80% de personas que entran a almacenes Súper Día se encuentran entre las edades de 31 a 45 años y de 46 años en adelante.

- En la siguiente gráfica, se muestra el porcentaje de personas correspondiente a la frecuencia con la que visitan Almacenes Súper Día.

Gráfica 8. Diagrama de torta frecuencia de visita.



Fuente: construcción de las autoras.

De lo anterior se infiere que, en promedio, el 33% de las personas que compran en Súper día, visitan el almacén todos los días.

- En la siguiente tabla se muestran las respuestas dadas por 70 encuestados en Almacenes Súper Día de acuerdo con la frecuencia de compra de los productos de interés.

Frecuencia	Arroz	Lenteja	Panela	Fríjol	Azúcar	Sal	Condimentos	Harina	Cereales	Pasta
1 vez por mes	29	29	27	30	33	43	39	25	23	32
2 veces por mes	23	20	17	21	18	14	7	15	14	23
3 veces por mes	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1
4 veces por mes	4	5	12	8	8	4	3	6	5	8
5 veces por mes	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0
6 veces por mes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Todos los días	13	2	5	2	6	4	3	5	2	4
0 veces por mes	1	14	7	9	3	4	18	18	24	2

Tabla 9. Frecuencia de compra de productos.

De lo anterior se infiere que alrededor del 75% de las personas compran los productos entre una y dos veces por mes. Además, entre los productos que menos compran los encuestados, se encuentran los condimentos, las harinas y los cereales con un 25%

- De 70 personas encuestadas, sólo 12 de ellas han encontrado faltantes en los diferentes productos de interés, a continuación, se muestra un resumen del número de personas que encontraron inexistencias en las estanterías.

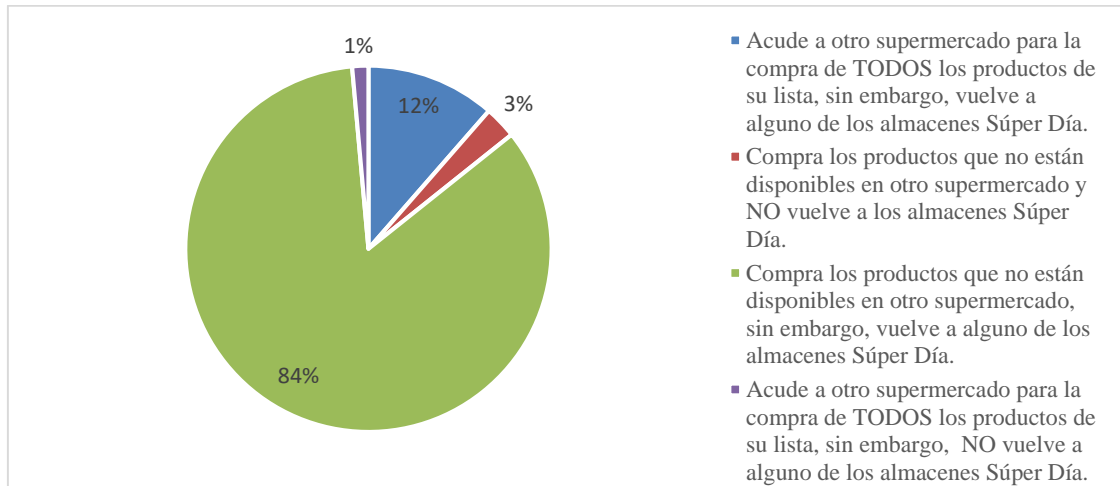
¿Con qué frecuencia usted no encuentra los siguientes productos en la estantería?	Siempre lo encuentra	1 vez por mes	2 veces por mes
Arroz	6	6	0
Panela	9	3	0
Lenteja	11	1	0
Fríjol	8	3	1
Harina	11	1	0
Azúcar	10	2	0
Sal	9	2	1
Condimentos	11	1	0
Cereales	10	2	0
Pasta	11	1	0

Tabla 10. Frecuencia de faltantes.

De lo anterior, se infiere que el producto con mayor cantidad de faltantes reconocidas por los clientes encuestados, corresponde al arroz.

- De acuerdo con la pregunta relacionada al caso de encontrar faltantes, se presentan los porcentajes correspondientes a cada opción de respuesta.

Gráfica 9. Diagrama de torta decisión del cliente.



Fuente: construcción de las autoras.

Al analizar la gráfica, se observa que con el 84% de los clientes de Almacenes Súper Día sólo se incurre en el costo de oportunidad del producto con insuficiencia en estantería. Además, con el 12% se incurre en el costo de oportunidad de toda la compra del cliente debido a que acude a otro supermercado para la compra de todos sus productos, sin embargo, vuelve. Por último, con el 4% se incurre en el costo de perder al cliente debido a que este no vuelve a Almacenes Súper Día.

Estos porcentajes obtenidos se usan como ponderadores en el cálculo de la función objetivo de costos de oportunidad. En primer lugar, para calcular los costos referentes al comportamiento de los clientes correspondientes al producto faltante, se tienen en cuenta los precios unitarios de cada referencia. En segundo lugar, para calcular los costos referentes a la pérdida de la compra del cliente por visita, se tiene en cuenta el costo promedio del mercado del cliente. Finalmente, en tercer lugar, para el costo asociado a la pérdida total del cliente, se tiene en cuenta la multiplicación del costo promedio del mercado por visita y la frecuencia de visita por mes.

Los costos de oportunidad asociados a cada referencia de producto se encuentran en los datos de entrada del aplicativo.

La encuesta piloto se encuentra en el anexo 4.

La encuesta se encuentra en el anexo 4.

4.3. Modelo matemático

Para el desarrollo del modelo matemático, inicialmente se usan valores teóricos definidos por las autoras y en una instancia pequeña con el fin de verificar que el modelo funciona.

En el modelo se plantean las restricciones que permiten calcular las cantidades a comprar, almacenar y enviar a los puntos de venta, además de determinar la ubicación espacial de los productos en la bodega principal.

Para plantear el modelo matemático, se usan cuatro conjuntos los cuales son:

Conjuntos	
Expresión	Descripción
Z: {1..z}	Conjunto de áreas en la bodega destinadas para ubicar los diferentes productos.
R: {1..r}	Conjunto de referencias comercializadas en el almacén que forman parte de los productos Pareto.
M: {1..m}	Conjunto de puntos de venta donde se comercializan los productos.
T: {1..t}	Conjunto de semanas contempladas en el horizonte de planeación.
N: {1..n}	Conjunto de orden para ubicación de productos.

Tabla 11. Conjuntos modelo matemático.

Los parámetros necesarios para el desarrollo del modelo son:

Parámetros		
Expresión	Descripción	Unidades
D_{rmt} $\forall r \in R, \forall m \in M, \forall t \in T$	Demanda pronosticada del producto r en la semana t en el punto de venta m.	$\left[\frac{und}{semana}\right]$
α_{zl} $\forall z \in Z, \forall l \in Z$	Distancia entre la zona z y l	[m]
A_z $\forall z \in Z$	Peso máximo que soporta la zona z.	[kg]
G_z $\forall z \in Z$	Volumen máximo de la zona z.	[m ³]
$S_z \in \{0,1\}$ $\forall z \in Z$	Binario que señala si en la zona z se puede ubicar producto.	
W_r $\forall r \in R$	Peso del producto r.	[kg]
O_r $\forall r \in R$	Volumen que ocupa el producto r.	$\left[\frac{m^3}{(bulto\ o\ caja)}\right]$
C_r $\forall r \in R$	Cantidad del producto r.	$\left[\frac{und}{(bulto\ o\ caja)}\right]$
$\beta_{zl} \in \{0,1\}$ $\forall z \in Z, \forall l \in Z$	Binario que señala si la zona z es adyacente a la l.	No aplica
<i>Ponderador1</i>	Ponderación dada al trabajo realizado por el operario.	No aplica
<i>Ponderador2</i>	Ponderación dada al número de viajes en la función objetivo.	No aplica
SSW_r $\forall r \in R$	Stock de seguridad del producto r en bodega.	[und]
SSM_{rm} $\forall r \in R, \forall m \in M$	Stock de seguridad del producto r en el punto de venta m.	[und]
<i>CapOP</i>	Capacidad el operario.	$\left[\frac{kg}{operario}\right]$
<i>CostoOportunidad_r</i> $\forall r \in R$	Costo de no poder vender una unidad del producto r.	$\left[\frac{\$}{und}\right]$
<i>CostoMercar_r</i> $\forall r \in R$	Costo de oportunidad promedio por perder la venta de un mercado con el producto r.	[\$]
<i>CostoNoVolver_r</i> $\forall r \in R$	Costo de oportunidad promedio por perder un cliente.	[\$]
$CapStand_{rm}$ $\forall r \in R, \forall m \in M$	Capacidad de almacenamiento del producto r en el minorista m.	[m ³]
$CapBodeguita_m$ $\forall m \in M$	Capacidad de almacenamiento de la bodega del punto de venta m.	[m ³]

Tabla 12. Parámetros modelo matemático.

Las variables de decisión que permiten resolver el problema planteado se encuentran a continuación:

Variables de decisión		
Expresión	Descripción	Unidades
$X_{rzn} \in \{0,1\}$ $\forall r \in R, \forall z \in Z, \forall n \in N$	Binaria que indica si el producto r es ubicado en la zona z en el orden n.	No aplica
Y_{rzt} $\forall r \in R, \forall z \in Z, \forall t \in T$	Cantidad de producto r ubicado en la zona z en la semana t en el orden n.	[und]
QW_{rzt} $\forall r \in R, \forall z \in Z, \forall t \in T$	Cantidad de producto r que se pide en la semana t para la bodega.	$\left[\frac{bulto\ o\ caja}{semana}\right]$
QM_{mrzt} $\forall m \in M, \forall r \in R, \forall z \in Z, \forall t \in T$	Volumen máximo de la zona z.	$\left[\frac{bulto\ o\ caja}{semana}\right]$
IW_{rt} $\forall r \in R, \forall t \in T$	Inventario en la bodega del producto r en la semana t.	$\left[\frac{bulto\ o\ caja}{semana}\right]$
IM_{mrt} $\forall m \in M, \forall r \in R, \forall t \in T$	Peso del producto r.	$\left[\frac{bulto\ o\ caja}{semana}\right]$
$FaltaM_{mrt}$ $\forall m \in M, \forall r \in R, \forall t \in T$	Volumen que ocupa el producto r.	$\left[\frac{m^3}{(bulto\ o\ caja)}\right]$
$QFaltaM_{mrt}$ $\forall m \in M, \forall r \in R, \forall t \in T$	Cantidad de unidades faltantes en el punto de venta m en la semana t del producto r.	[und]
$Acum_{rzt}$ $\forall r \in R, \forall z \in Z, \forall t \in T, \forall n \in N$	Capacidad que se ha almacenado del producto r en la zona z en el período t en el orden n.	[m ³]

Tabla 13. Variables de decisión modelo matemático.

A partir del análisis realizado por medio de las encuestas y la información recopilada, se determina que la función objetivo se compone del trabajo realizado por los operarios para llevar los productos de un punto a otro, el costo de oportunidad asociado a tener faltantes en estantería y la cantidad de zonas en las que se ubica producto. Esta se presenta a continuación:

Función Objetivo	
$\min \sum_{m \in M} \sum_{r \in R} \sum_{t \in T: t! = 0} \sum_{n \in N} \sum_{z \in Z: z! = 0} \left[\left(0.25 * \left(\frac{QM_{mrzt} * \left(\frac{W_r}{C_r} \right)^{\alpha_{z0}}}{CapOp} + \left(\frac{QW_{rzt} * \left(\frac{W_z}{C_r} \right)^{\alpha_{0z}}}{CapOp} \right) \right) \right) + (0.5 * (z * X_{rzn})) \right. \\ \left. + (0.25 * ((0.84 * QFaltaM_{mzt} * CostoOportunidad_r) + (0.12 * QFlataM_{mrz} * CostoMercar_r) + (0.04 * QFaltaM_{mrz} * CostoNoVolver_r))) \right]$	
Descripción	El objetivo del modelo es minimizar el costo por faltantes junto con el trabajo realizado por el trabajador al ubicar los productos en bodega y alistarlos para su posterior distribución.

Tabla 14. Función objetivo modelo matemático.

Las restricciones del problema se presentan a continuación:

Restricciones		
	Expresión	Descripción
	$X_{rzn} \leq S_z \quad \forall r \in R, \forall z \in Z, \forall t \in T$	Es posible ubicar productos en determinada zona.
	$X_{rx} \leq Y_{rzt} \quad \forall r \in R, \forall n \in N, \forall z \in Z: z! = 0, t \in T: t! = 0$	Es posible asignar un producto a una determinada zona.
	$\sum_{n \in N} \sum_{z \in Z: z! = 0} X_{rzn} \geq 1 \quad \forall r \in R$	Cada producto debe ser ubicado en una sola zona en un único orden.
	$IW_{r,0} = 0 \quad \forall r \in R$	Inventario inicial de cada producto en bodega es cero.
	$A_z \geq \sum_{r \in R} Y_{rzt} * \left(\frac{W_r}{C_r} \right) \quad \forall z \in Z: z! = 0, t \in T: t! = 0$	El volumen ocupado por los productos en determinada zona no debe exceder la capacidad.
	$G_z \geq \sum_{r \in R} Y_{rzt} * \left(\frac{Q_r}{C_r} \right) \quad \forall z \in Z: z! = 0, t \in T: t! = 0$	El peso ocupado por los productos en determinada zona no debe exceder el peso máximo disponible.
	$IM_{mrt} \geq SSM_{rm} \quad \forall r \in R, m \in M, t \in T, t! = 0$	El inventario existente en cada punto de venta debe ser mayor o igual al stock de seguridad de cada producto.
	$Y_{rzt} = Y_{rzt-1} + QW_{rzt} - \sum_{m \in M} QM_{mrzt}$ $\forall r \in R, t \in T: t! = 0, z \in Z: z! = 0$	Ecuación de balanceo de existencias por zona: unidades disponibles de cada producto en la zona es igual a las cantidades que quedan el periodo anterior más las unidades que llegan a bodega menos las que se envían a los diferentes puntos de venta.
	$IW_{rt} \geq SSW_r \quad \forall r \in R, t \in T, t \neq 1$	El inventario existente en bodega debe ser mayor o igual al stock de seguridad de cada producto.
	$IW_{rt} = \sum_{z \in Z: z! = 0} Y_{rzt}$ $\forall r \in R, t \in T: t! = 0$	Las cantidades de producto que son ubicadas en las zonas corresponden al inventario que queda en cada periodo.
	$QTotalW_{rt} = \sum_{z \in Z: z! = 0} QW_{rzt}$ $\forall r \in R, t \in T: t! = 0$	La cantidad total de cada producto en un periodo determinado de la bodega es igual a la sumatoria de las cantidades de cada producto en las zonas.

$QTotalM_{mrt} = \sum_{z \in Z:z!=0} QM_{mrzt}$ $\forall r \in R, m \in M, t \in T: t! = 0$	La cantidad total de cada producto a enviar al minorista es igual a la sumatoria de las cantidades de cada producto en las zonas.
$\sum_{z \in Z:z!=0} X_{rzn} \leq 1 \quad \forall r \in R, n \in N$ $\sum_{z \in Z:z!=0} X_{rzn} \leq 1 \quad \forall r \in R, z \in Z: z! = 0$	Un producto puede solo tener un orden en una zona.
$\sum_{z \in Z:z!=0} X_{rzn} = \sum_{l \in Z:l!=0} X_{rln+1}$ $\forall r \in R, n \in N, : n! = 113$	Si se ubica una referencia de producto en el orden n, puede ubicarse en otra zona una referencia de producto con el orden n+1.
$X_{rzn} = \sum_{l \in Z:l!=0} \sum_{p \in N:l!z \& p < n} Beta_{zl} * X_{rlp}$ $\forall r \in R, n \in N, z \in Z: n > 2$	Si una zona en la que se ubicó una referencia de producto no es adyacente a otra en la que se desea ubicar producto, no se ubica la referencia.
$Y_{rzt} = 0$ $\forall r \in R, z \in Z, t \in T: t = 0 \& z! = 0$	Para el periodo 0 no hay productos en las zonas.
$Y_{rzt} - \sum_{n \in N} Acum_{rzt n} = 0$ $\forall r \in R, z \in Z, t \in T: t! = 0 \& z! = 0$	La cantidad de productos en cada zona en un periodo determinado menos la cantidad de productos en cada zona en la suma de los órdenes corresponde a 0.
$M \times X_{rzn} \geq Acum_{rzt n}$ $\forall r \in R, n \in N, t \in T: t! = 0 \& z! = 0$	Si permito ubicar producto en una zona y en un orden determinado, la variable Acum puede tomar valores, de lo contrario su valor será 0.
$(1 - FaltaM_{mrt}) \times M \geq IM_{mrt-1} + \sum_{z \in Z:z!=0} QM_{mrzt} - D_{rmt}$ $\forall r \in R, m \in M, t \in T, t \neq 1$ $-FaltaM_{mrt} \times M \leq IM_{mrt-1} + \sum_{z \in Z:z!=0} QM_{mrzt} - D_{rmt}$ $\forall r \in R, m \in M, t \in T, t \neq 1$ $IM_{mrt} - QfaltaM_{mrt} = IM_{mrt-1} + \sum_{z \in Z:z!=0} QM_{mrzt} - D_{rmt}$ $\forall r \in R, m \in M, t \in T, t \neq 1$	Ecuación de balance de inventario de los minoristas.
$IM_{mrt} \leq (1 - FaltaM_{mrt}) \times M$ $\forall r \in R, m \in M, t \in T, t \neq 1$	Si el valor de faltantes es 1, no puede haber inventario en el minorista.
$IM_{mrt} \times \frac{O_r}{C_r} \leq CapStand_{rm} + CapAux_{rmt}$ $\forall r \in R, m \in M, t \in T, t \neq 1$	El volumen de las cantidades a enviar a los minoristas no puede ser mayor al volumen disponible en la bodega del minorista.
$\sum_{r \in R} CapAux_{rmt} \leq CapBodegaM_m$ $\forall m \in M, t \in T, t \neq 1$	La capacidad de la bodega del minorista es menor o igual a la capacidad ocupada en cada periodo.

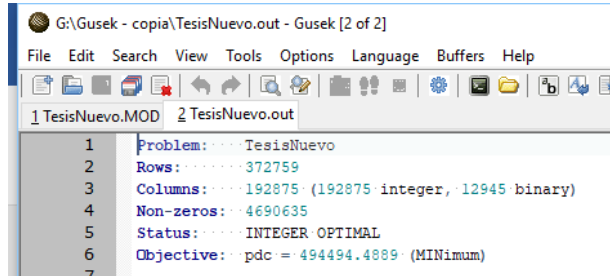
Tabla 15. Restricciones modelo matemático.

Debido al tamaño del problema, el software usado para resolver el modelo matemático se queda sin memoria y no presenta ninguna solución. Adicionalmente, por restricciones como el tiempo de corrida del programa y el carácter integrado de la solución del problema, no es posible usar softwares con capacidades suficientes para

dar solución. Por lo anterior, se corre una instancia más pequeña del problema pasando de 113 a 50 zonas y de 212 a 5 productos. Los resultados se presentan a continuación:

De acuerdo con los parámetros y las variables que se tuvieron en cuenta, la función objetivo corresponde a 494494,48. La función objetivo se compone del trabajo realizado por los operarios para llevar los productos de un punto a otro, el costo de oportunidad asociado a tener faltantes en estantería y la cantidad de zonas en las que se ubica producto. Por lo anterior, es necesario realizar ponderación por cada fase por lo que la función objetivo es adimensional.

Imagen 5. Función objetivo gusek.



```
1 Problem: TesisNuevo
2 Rows: 372759
3 Columns: 192875 (192875 integer, 12945 binary)
4 Non-zeros: 4690635
5 Status: INTEGER OPTIMAL
6 Objective: pdc = 494494.4889 (MINimum)
7
```

Fuente: construcción de las autoras.

Cabe aclarar que, como se mencionó anteriormente, al no ser suficiente el software usado, se recurre al uso de metaheurísticas que respetan el tiempo de corrida y el carácter integrado de la solución presentada al problema respecto al plan de compras, almacenamiento y distribución.

Los valores que toman las variables se encuentran en el anexo 5.

4.4. Desarrollo de las metaheurísticas

El funcionamiento del aplicativo se realiza de forma secuencial usando inicialmente una metaheurística tabú, seguida por una metaheurística de algoritmo genético. A continuación, se detalla el funcionamiento de cada una de ellas y su alcance en el aplicativo.

- **Metaheurística Tabú**

Con el fin de obtener un plan de compras que minimice el número de faltantes en los diferentes puntos de venta, se implementó la metaheurística Tabú. Su solución inicial se realizó de acuerdo con el modelo de reaprovisionamiento lote a lote, que consiste en realizar pedidos iguales a las necesidades netas y stock de seguridad en bodega en cada uno de los períodos. De esta forma, se pretende garantizar que no se sobrepase la capacidad de la bodega y que se cumpla con los requerimientos de demanda.

Dicho modelo se realizó a partir de la recolección de información correspondiente al pronóstico de la demanda de cada referencia, en cada período y punto de venta, estimando los parámetros para calcular las cantidades que deben ser compradas de cada producto, verificando que, en conjunto, no sobrepasaran la capacidad de la bodega. De igual forma, para determinar la cantidad de producto almacenada y enviada a los puntos de venta, se calculó el total necesario a enviar de acuerdo con la demanda y las existencias en la bodega, teniendo presente que, al no cumplir con dicha cuantía, se debían calcular los faltantes correspondientes.

Para el desarrollo de la metaheurística, se organizaron los faltantes de acuerdo con dos criterios. El primero de ellos de forma descendente de acuerdo con su precio y cantidades faltantes, mientras el segundo, se realizó en forma ascendente. A partir de lo anterior, se determinó el volumen necesario para enviar una unidad más de la referencia que ocasionará mayores pérdidas por faltantes ya que generar una venta más de ese artículo disminuiría las pérdidas. De acuerdo con esto, la búsqueda de la mejor función objetivo corresponde a aquella en la que los faltantes resultantes ocasionan menores pérdidas.

Para el funcionamiento de la metaheurística, se determinó como iteración todo posible cambio a la solución inicial de la heurística propia. De acuerdo a esto, se seleccionan únicamente aquellas modificaciones que cumplen las restricciones y disminuyen la función objetivo. Asimismo, se realizan pruebas con diferentes

valores que respetan el tiempo computacional establecido al principio del estudio. Lo anterior, permite obtener los parámetros duración del tabú e iteraciones sin mejora que proporcionen una mayor diversificación respecto a los cambios posibles.

- **Algoritmo Genético**

Para el almacenamiento de las referencias en la bodega principal de Almacenes Super Día S.A. se realizó un algoritmo genético que permita explorar las distintas opciones en que los sku`s pueden estar ubicados en las distintas zonas disminuyendo el trabajo total realizado por los trabajadores para su almacenamiento teniendo en cuenta la distancia desde el camión de descargue a las zonas y el trabajo realizado desde las zonas hasta el camión para la distribución a los distintos puntos de venta.

Este algoritmo genético recibe la solución proporcionada por el Tabú encargado de determinar la cantidad a almacenar y a distribuir de las referencias analizadas y genera la primera generación una población de las 212 referencias respetando que los sku`s de la misma familia estén juntos.

Para determinar la siguiente generación se realiza el cruce en donde a partir de un punto de corte se evalúa un vector de familias y se escogen las referencias pertenecientes a dicha familia del primer papá y luego se determinan las referencias restantes del segundo papá para determinar el cromosoma de dicho cruce. Posteriormente a este cruce se realiza una mutación de acuerdo con una probabilidad de 0,1 de mutar los hijos obtenidos en el cruce. Esta mutación escoge 2 familias de productos de forma aleatoria, las cuales cambiarán de posición en el cromosoma original. Este cambio analiza la diferencia entre el tamaño de una familia y la otra familia para reacomodar el cromosoma del hijo. Finalmente, los hijos obtenidos se convierten en la población vigente de la siguiente generación.

Es importante mencionar que se asigna la función objetivo a cada población para comparar con cada generación cual es la mejor asignación de los productos a las zonas y al terminar se realiza una asignación final de la mejor ubicación en las zonas después de la diversificación del algoritmo genético. Finalmente, la parametrización fue definida a partir de criterios de diversificación y tiempo de ejecución. Dichos parámetros son principalmente el punto de corte del cruce, el número máximo de generaciones y las familias seleccionadas para la mutación. El punto de corte y el número máximo de generaciones fueron determinados a partir de la exploración de soluciones que representaran realmente una mejora en la solución vigente, ya que después de cierto parámetro no se veían mejoras significativas afectando de esta forma la restricción del tiempo de ejecución. Igualmente, para determinar el número de cambios en la mutación se determinó un número que permita un tiempo computacional corto ya que es un proceso iterativo y explore cambios que permitan diversificación en las generaciones.

4.5. Comparación de resultados

En primer lugar, para evaluar los resultados de los pronósticos se calcula el error como medida de desempeño en cada periodo. Los errores obtenidos son usados para determinar el stock de seguridad de los productos como medida de ajuste. A continuación, se presenta la fórmula del cálculo del error:

$$e_{rt} = F_{rt} - D_{rt}$$

En donde:

e_{rt} Corresponde al error del pronóstico del producto r en el periodo t.

F_{rt} Corresponde al pronóstico de la demanda del producto r en el periodo t.

D_{rt} Corresponde al valor real de la demanda del producto r en el periodo t.

En segundo lugar, para realizar la comparación de los valores obtenidos en el plan de compras, almacenamiento y plan de distribución, se comparan los faltantes obtenidos en cada punto de venta de acuerdo con las compras determinadas por el aplicativo y las compras reales. Además de evaluar los costos de oportunidad respectivos.

Finalmente, en tercer lugar, con el fin de calcular el trabajo realizado por los operarios en la situación actual y la planteada, se desarrollan dos simulaciones en el software flexsim. A partir del planteamiento de los dos modelos con las diferentes ubicaciones de los productos en las zonas, se calculan las distancias totales recorridas por los operarios, conservando la misma cantidad de cada referencia.

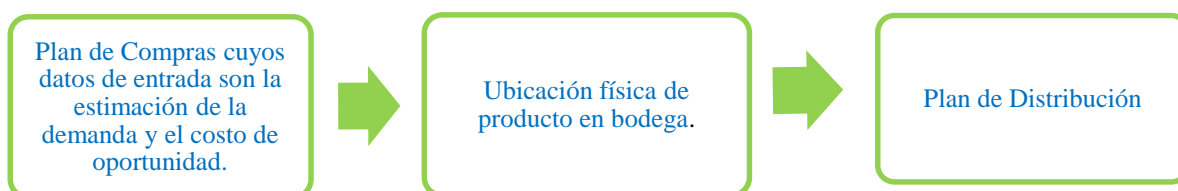
5. Componente de Diseño en ingeniería.

5.1. Declaración de diseño

Las herramientas de ingeniería como metaheurística de algoritmo genético y tabú son utilizadas para el desarrollo de la solución integrada para mejorar un resultado inicial. Es importante aclarar que su impacto en Almacenes Súper Día será medible posteriormente a su implementación, por lo que se deberá simular escenarios para determinar el beneficio de la propuesta realizada.

5.2. Proceso de diseño

En el proceso de diseño del aplicativo se determinan cinco fases. Estas corresponden al registro de la demanda, la ejecución del aplicativo, los resultados del plan de compras, almacenamiento en bodega y plan de distribución. A continuación, se explica cada una de las fases a partir de la interfaz creada, teniendo en cuenta el siguiente diagrama.



En la imagen 6 se observa la ventana donde el usuario se dirige a diligenciar las demandas en los diferentes puntos de venta durante el horizonte de tiempo deseado.

Imagen 6. Registrar demandas interfaz.



Fuente: construcción de las autoras.

Después de completar los datos de las demandas, el usuario puede dirigirse a ejecutar el aplicativo, este se observa en la imagen 7.

Imagen 7. Ejecutar aplicativo interfaz.



Fuente: construcción de las autoras.

Posteriormente, el usuario ingresa a la ventana en donde se pueden visualizar los resultados del plan de compras, almacenamiento y plan de distribución, esto se observa en la imagen 8.

Imagen 8. Menú principal interfaz.



Fuente: construcción de las autoras.

Al presionar el botón compras, el usuario es dirigido a una ventana nueva en donde puede seleccionar el producto y la semana que desee para obtener la cantidad que debe comprar.

Imagen 9. Plan de compras interfaz.



Fuente: construcción de las autoras.

Si el usuario desea conocer la cantidad máxima a almacenar y la zona en la que se encuentra un producto en específico, debe volver al menú principal y seleccionar el botón almacenamiento. Al dar click, el usuario es dirigido a la ventana de la imagen 10 en donde selecciona la referencia deseada y presiona el botón ejecutar cálculos para obtener los datos mencionados anteriormente. Si el usuario desea realizar una nueva búsqueda, debe oprimir el botón borrar datos.

Imagen 10. Almacenamiento interfaz.

ALMACENAMIENTO

BUSQUE AQUÍ EL PRODUCTO QUE DESEE:
PANELA PULVERIZADA DE LA ABUELAx500g

LA CANTIDAD MÁXIMA QUE ALMACENA ES:
20 50

LA ZONA EN DONDE DEBE ALMACENAR ES:
9 10

PRESIONE AQUÍ PARA EJECUTAR LOS CÁLCULOS

BORRAR DATOS

VOLVER AL MENÚ PRINCIPAL

Fuente: construcción de las autoras.

Adicionalmente, si el usuario desea conocer las cantidades a enviar a un punto de venta específico y la semana en la que debe desarrollar esta tarea, debe volver al menú principal y seleccionar el botón distribución. Al darle click, el usuario debe seleccionar el producto, la semana y el minorista que desee.

Imagen 11. Plan de distribución interfaz.

PLAN DE DISTRIBUCIÓN

BUSQUE AQUÍ EL PRODUCTO QUE DESEE:
PANELA PULVERIZADA DE LA ABUELAx500g

BUSQUE AQUÍ LA SEMANA QUE DESEE:
1

BUSQUE AQUÍ EL PUNTO DE VENTA QUE DESEE:
Claret

LA CANTIDAD QUE DEBE ENVIAR ES:
2

VOLVER AL MENÚ PRINCIPAL

Fuente: construcción de las autoras.

El instructivo de la interfaz se encuentra en el anexo 2.

5.3. Normas y estándares

Teniendo en cuenta que el grupo de estudio son alimentos, las normas de salubridad exigidas por el INVIMA para su manejo y control, proporcionan directrices para el diseño e implementación del aplicativo en la medida que la distribución de productos en bodega y su transporte a las distintas sucursales requieren condiciones ambientales y físicas específicas.

Súper Día al ser un establecimiento dedicado al comercio al por menor de alimentos requiere seguir unas reglas respecto al almacenamiento y distribución de los artículos pertenecientes al grupo de estudio. A continuación, se presentan las regulaciones que impactan directamente la ley 9 de 1979 sobre las medidas sanitarias requeridas por el INVIMA.

“Se establecen las normas específicas a que deberán sujetarse:

- Los alimentos, aditivos, bebidas o materias primas correspondientes o las mismas que se produzcan, manipulen, elaboren, transformen, fraccionen, conserven, almacenen, transporten, expandan, consuman, importen.
- Los establecimientos industriales y comerciales en que se realice cualquiera de las actividades mencionadas en este artículo, y
- El personal y el transporte relacionado con ello.” (Alimentos, s.f.)

Es importante mencionar que, en el diseño del almacenamiento de los alimentos del grupo de estudio, el INVIMA no tiene ningún tipo de restricción en cuanto a los productos a ubicar en las zonas adyacentes a este grupo de artículos, salvo las reglas sanitarias comunes respecto a la temperatura, manipulación y estado del empaque.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta la norma ISO-9126 que indica requerimientos que el aplicativo debe considerar como: la fiabilidad, funcionalidad, calidad en uso, eficiencia y mantenibilidad, que facilite su implementación en la organización (Abud Figueroa, 2000).

5.4. Pruebas de rendimiento

De acuerdo con los resultados obtenidos al evaluar el modelo matemático y el aplicativo en una instancia de cinco referencias y cincuenta zonas, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Como se menciona en el apartado de metodología en la sección 4.3, la función objetivo obtenida en el modelo matemático corresponde a 494494,48. Esta se compone por tres partes las cuales corresponden al número de zonas usadas, al trabajo realiza por el operario y el costo de oportunidad. Igualmente, la función objetivo obtenida en el aplicativo cuenta con las mismas secciones y corresponde a 535675,71.

De lo anterior, se puede decir que existe un error relativo de 8,33%.

Respecto a la primera parte de la función objetivo mencionada anteriormente, las zonas en las que se ubican los productos en el modelo matemático y el aplicativo, se presentan a continuación:

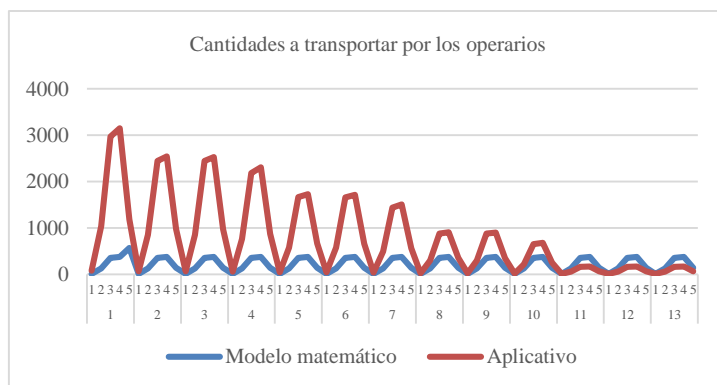
Productos	Modelo matemático	Aplicativo
1	Zona 1	Zona 1
2	Zona 1	Zona 1
3	Zona 1	Zona 1
4	Zona 1	Zona 1
5	Zona 1	Zona 1

Tabla 16. Ubicación de zonas gusek vs. Aplicativo.

Respecto a la tabla anterior, cabe mencionar que el operario, en ambos casos, al transportar sólo una caja de cualquiera de los 5 productos, recorre la misma distancia, por lo que la primera parte de la función objetivo, correspondiente al número zonas usadas, en los dos casos es la misma. En otras palabras, la zona en la que ubican los productos no genera alguna diferencia entre el modelo matemático y el aplicativo.

Adicionalmente, en el siguiente gráfico se presentan las cantidades que son transportadas semanalmente a la zona 1 obtenidas por medio del modelo matemático y el aplicativo. Es importante resaltar que en el diagrama se representa parte del trabajo a realizar por el operario lo que corresponde a la segunda sección de la función objetivo. En el eje X se encuentran las semanas y los productos y, en el eje Y, se encuentran las cantidades a transportar por los operarios.

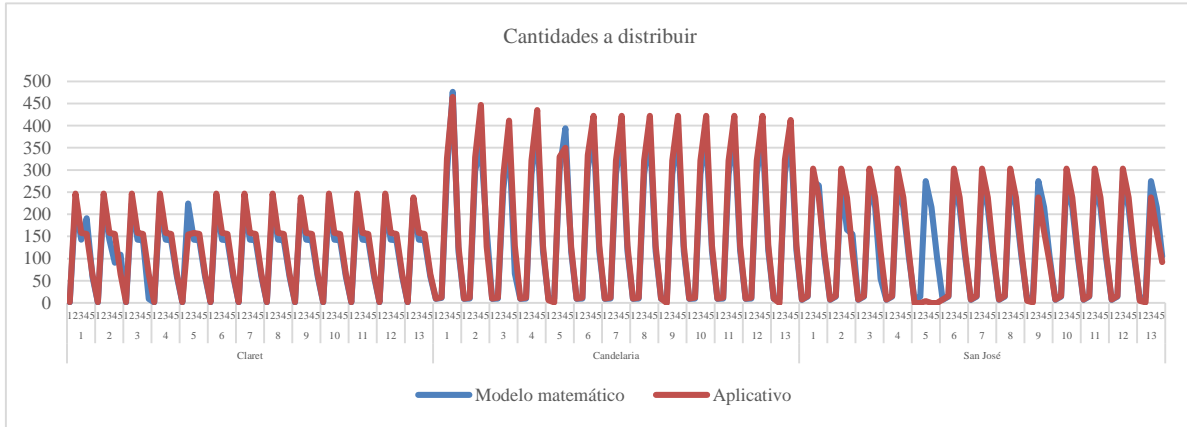
Gráfica 10. Diagrama de cantidades a transportar por los operarios en la bodega gusek vs. Aplicativo.



Fuente: construcción de las autoras.

Como se observa, las cantidades a transportar por los operarios calculadas por medio del aplicativo son mayores hasta la semana diez respecto a las calculadas en el modelo matemático. Lo anterior se ve reflejado en un aumento de la distancia recorrida debido a la frecuencia de visitas a la zona uno y, por ende, del trabajo del operario, superando el 76,9% de las veces al modelo matemático.

Gráfica 11. Diagrama de cantidades a distribuir gusek vs. Aplicativo.



Fuente: construcción de las autoras.

En la gráfica 11 se observa que las cantidades a distribuir en el aplicativo, en gran parte de los periodos, son mayores respecto a las calculadas en el modelo matemático generando un aumento en el trabajo que realiza el operario y, por ende, en la función objetivo. Además, se puede apreciar que, en algunos periodos, las cantidades enviadas mediante el modelo matemático son mucho mayores respecto al aplicativo, esto puede verse reflejado en la presencia de faltantes.

Como se menciona anteriormente, debido al tipo de política usada en el aplicativo, se presentan faltantes de productos en algunos periodos y estos tienen penalización en la función objetivo. Esta situación no se presenta en el modelo matemático, debido a que, por su naturaleza, reduce la función objetivo, disminuyendo los faltantes, sin tener en cuenta una política de inventarios específica. En la siguiente tabla se pueden observar los faltantes obtenidos:

Minorista	Semana	Producto	Faltantes
Claret	5	2	69
Candelaria	5	1	2
Candelaria	5	2	9
Candelaria	5	4	42
Candelaria	9	2	9
Candelaria	13	2	9
San José	5	1	7
San José	5	2	14
San José	5	3	271
San José	5	4	216
San José	5	5	105
San José	9	1	2
San José	9	2	13
San José	9	3	37
San José	9	4	55
San José	9	5	13
San José	13	1	2
San José	13	2	13

San José	13	3	37
San José	13	4	55
San José	13	5	13

Tabla 17. Faltantes aplicativo.

El modelo matemático se encuentra en el anexo 6.

El aplicativo con 5 productos y 50 zonas se encuentra en el anexo 7.

5.5. Restricciones

El desarrollo del aplicativo se realizó siguiendo las restricciones percibidas en el planteamiento del problema. De acuerdo con esto, el establecimiento del plan de compras es extensible a todos los productos que comercializa la empresa, respetando sus restricciones de capacidad en cuanto a bodegas y puntos de venta y, manteniendo un costo de implementación cero.

Sin embargo, en el desarrollo del presente trabajo, se percibieron limitaciones respecto a recolección de información y generación de instancias, estas se explican a continuación.

- **Recolección de información:** debido a la falta información de la demanda en algunos puntos de venta para ciertos productos en diferentes espacios de tiempo, no se logra obtener mejores cálculos de pronóstico que garanticen un plan de compras y distribución a puntos de venta óptimo. De igual forma, al ser productos comercializados por la empresa, algunos de ellos no tenían trazabilidad en todos los períodos de tiempo por lo que sus datos tenían mayor variabilidad.
- **Instancias del problema:** teniendo en cuenta que las instancias que deben ser generadas para el desarrollo del problema parten de 212 referencias, 133 zonas, 13 semanas y 3 puntos de venta y que, al realizar la corrida del modelamiento matemático, la memoria del software implementado resultó insuficiente, se adecuó el planteamiento a 5 referencias y 51 zonas que permitan evaluar el resultado del aplicativo con respecto al modelamiento.
- **Planeación semanal:** a partir de las instancias necesarias para evaluar el problema, se tuvo que establecer un único día para recibir los productos, así como para su distribución de bodegas a puntos de venta.

5.6. Cumplimiento del estándar

Inicialmente, se examina el alcance del aplicativo, en el cual se tenía previsto la utilización de los 10 productos Pareto, sin embargo al evaluar que no todas las referencias que alucen a estos 10 productos se comportan de forma similar para el manejo en grupo de las referencias, se implementaron los distintos sku`s pertenecientes a estas familias como si fueran un producto aislado, convirtiendo un aplicativo previsto para 10 productos en un diseño que tiene en cuenta las 212 referencias de productos correspondientes a dichos grupos. Lo anterior trasciende a lo planteado inicialmente, dándole más profundidad y complejidad al problema a solucionar por el aplicativo.

En segundo lugar, se evalúa el diseño del aplicativo donde se enfocó en presentar una solución eficiente, eficaz y didáctica que Almacenes Súper Día S.A. pueda implementar para disminuir la incertidumbre en las compras que se realizan mensualmente, y las cantidades a abastecer a los puntos de venta semanalmente, así como una propuesta de ubicación de producto en bodega que facilite el trabajo de los operarios. Lo anterior, se garantizó mediante un diseño de interfaz amigable con instructivo incluido para promover su uso en la empresa permitiendo diferenciar criterios como mercancía enviada a cada punto de venta y un mejor manejo de inventarios en cada uno de ellos.

Finalmente, se examina el cumplimiento de restricciones y factibilidad del aplicativo, donde al verificar la solución proporcionada se logra vislumbrar que para el plan de compras y de distribución se respetan las capacidades de la bodega principal y las bodegas auxiliares de los puntos de venta para la entrada y salida de mercancía. Igualmente, en la distribución física se comprueba que en todo el horizonte de planeación el inventario esté ubicado en su totalidad, es decir, que el producto tenga asociado una zona, que respete que los productos de la misma familia estén ubicados de forma adyacente sin tener producto en zonas no permitidas.

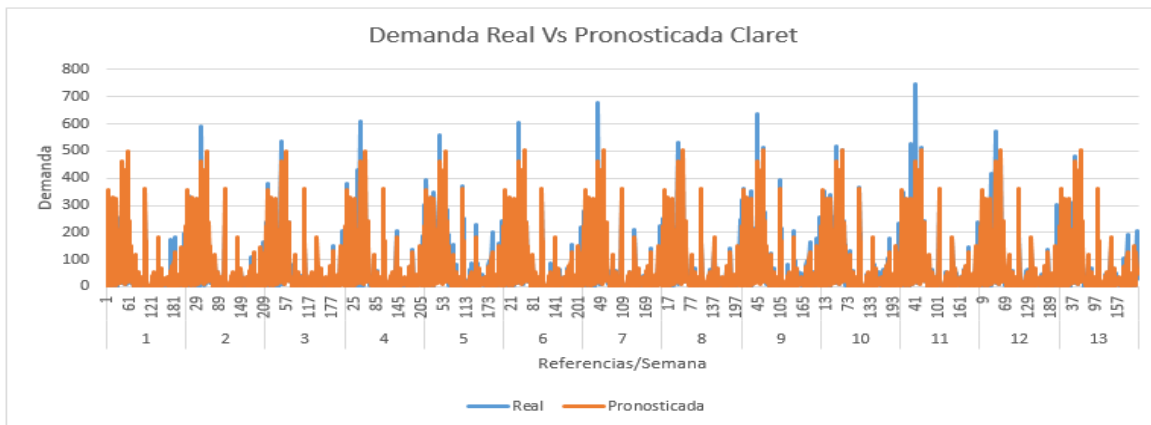
Cabe resaltar que para todo el aplicativo se utiliza información pronosticada, donde se verifica el error para ver que su comportamiento sea lo más próximo a la realidad de la empresa, ajustando dicho error en el stock de cada producto.

6. Resultados

Con el fin de poder realizar las compras de acuerdo con los requerimientos de demanda de los 3 puntos de venta: Claret, Candelaria y San José, se realizaron pronósticos de acuerdo al histórico de ventas de los últimos años. Al contrastar los pronósticos con la demanda real del periodo de planeación de los 3 minoristas, se encontraron que en el 35% de las referencias había un error superior al 50% y en las referencias restantes se tienen errores menores a dicho porcentaje. Lo anterior, se debe a que en el 35% de las referencias no existe un comportamiento estable de acuerdo con criterios de estacionalidad, aleatoriedad y de nivel por lo que al escoger el método de pronóstico existe un mayor error en cuanto a la realidad. Sin embargo, al calcular los errores se logró establecer el stock de seguridad de cada punto de venta para mitigar aún más los faltantes.

A continuación, se presentan las gráficas de la demanda real del 2018 Vs. las pronosticadas mediante el modelador experto, de cada minorista.

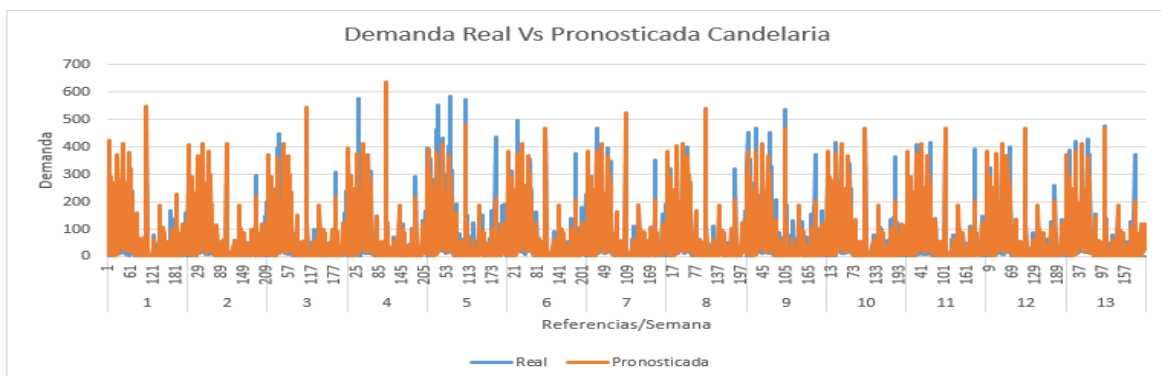
Gráfica 12. Demanda real vs. Pronosticada Claret.



Fuente. Construcción de las autoras.

El punto de Venta del Claret es un almacén que a pesar de tener periodos en donde la demanda tiene picos no esperados, existe un comportamiento estable. Lo anterior, significa que siguiendo el comportamiento de la demanda pronosticada no se tendrán faltantes muy pronunciados en todo el horizonte de planeación.

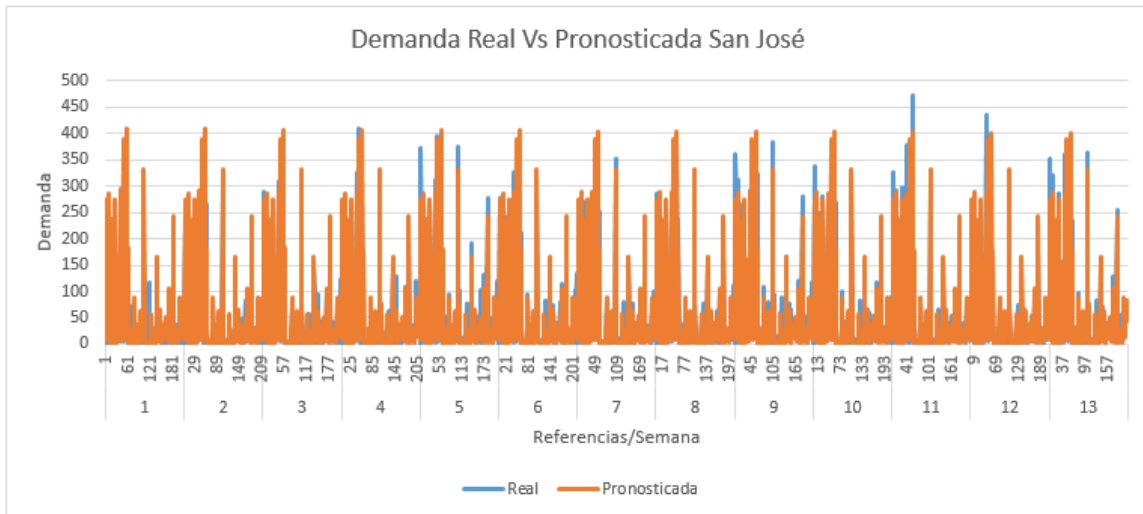
Gráfica 13. Demanda real vs. Pronosticada Candelaria.



Fuente. Construcción de las autoras.

Candelaria, es el punto de venta con más variabilidad en el comportamiento de la demanda, esto se debe a que es la sucursal que maneja el mayor volumen de producto.

Gráfica 14. Demanda real vs. Pronosticada San José.

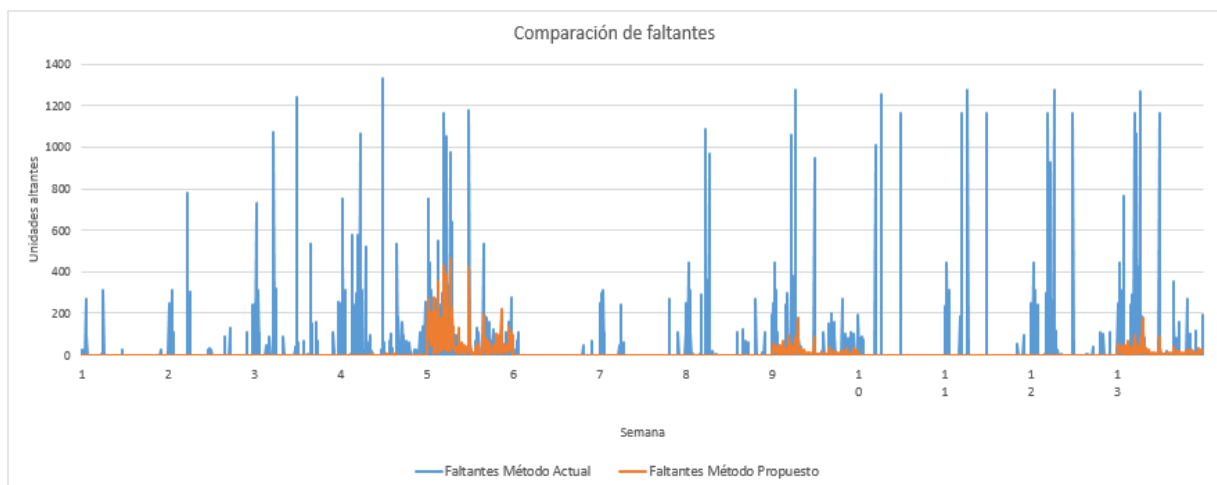


Fuente. Construcción de las autoras.

Por último, San José es el punto de venta más estable debido a que su ubicación estratégica, no tiene muchos competidores cercanos por lo que la fidelidad de sus clientes denota poca variación en su demanda, logrando el mejor ajuste del pronóstico respecto a la realidad.

Adicionalmente, en la gráfica 15, se presentan los faltantes de las compras reales y los faltantes obtenidos con el aplicativo, donde se visualiza que el método usado actualmente para el abastecimiento no cumple con los requerimientos de la demanda de los puntos de venta desde la primera semana. Por otro lado, el método propuesto por el aplicativo solo presenta ausencia de producto en la semana anterior al abastecimiento mensual programado, lo que representa una disminución en las compras perdidas y por tanto un menor costo de oportunidad.

Gráfica 15. Comparación de faltantes.



Fuente. Construcción de las autoras.

Almacenes Súper día S.A. no tenía en cuenta el impacto de las decisiones al momento de realizar las compras de mercancía o la cantidad a distribuir a los puntos de venta. Sin embargo, al publicar esta comparación se agregaría valor en la toma de decisiones al implementar el uso del aplicativo diseñado pues tiene como finalidad disminuir esos costos que la empresa no tiene presente pero que afectan su crecimiento. Los resultados del aplicativo se encuentran en el anexo 8.

Para determinar si existe un cambio en la distancia recorrida por los operarios comparando la ubicación actual de los productos con la ubicación propuesta por el aplicativo, se realiza una simulación en el software Flexsim. Los resultados obtenidos de las distancias recorridas por los tres operarios en la ubicación actual se presentan a continuación:

Imagen 12. Metros recorridos situación actual.

	Meters Traveled
Henry	520434.5
Wilson	520415.1
Oscar	520412.5

Fuente. Construcción de las autoras. Flexsim

De acuerdo con la imagen 12, la distancia total recorrida por los operarios corresponde a 1.561.262,1 metros o su equivalente, 1.561,26 kilómetros llevando las compras reales a las zonas respectivas. La simulación se puede encontrar en el anexo 9. Los resultados obtenidos de las distancias recorridas por los tres operarios en la ubicación propuesta por el aplicativo se presentan a continuación:

Imagen 13. Metros recorridos situación propuesta.

	Meters Traveled
Henry	448976.4
Wilson	449450.9
Oscar	448244.3

Fuente. Construcción de las autoras. Flexsim

De acuerdo con la imagen 13, la distancia total recorrida por los operarios corresponde a 1.346.651,6 metros o su equivalente, 1.346,65 kilómetros llevando las compras reales a las zonas propuestas por el aplicativo. La simulación se puede encontrar en el anexo 9.

De la información anterior, se puede decir que el aplicativo reduce el trabajo realizado en un 13,74% respecto a la ubicación actual de los productos disminuyendo en 214.610,5 metros la distancia total recorrida por los operarios.

Los planos en donde se presenta la ubicación de cada zona en la bodega principal de alimentos se encuentran en el anexo 10.

7. Conclusiones y recomendaciones.

- La solución planteada por el aplicativo es integrada debido a que un cambio en cualquier eslabón de la cadena de suministro tiene incidencia en los demás. Un ejemplo de ello se puede evidenciar en las estrategias comerciales, debido a que afectan las cantidades almacenadas y asimismo las cantidades requeridas para respetar criterios como el stock de seguridad y el cumplimiento de la demanda estimada. Por lo anterior, se puede decir que la metodología utilizada en el aplicativo considera la resiliencia de la cadena de suministro.
- Los pronósticos de demanda, de acuerdo con un modelador experto, permiten tener un mejor control sobre las compras, ya que se tiene en cuenta el comportamiento de los consumidores en el periodo de planeación y así tener más control sobre los inventarios y los costos asociados a ellos. En el caso de los pronósticos utilizados, se obtuvo un resultado sobresaliente en comparación al método utilizado actualmente ya que

a pesar de tener un error, se utilizó como medida de ajuste en el stock de seguridad de cada uno de los productos analizados. Dicha estimación de la demanda permite un aumento del horizonte de planeación de hasta 3 meses, disminuyendo el riesgo.

- Los faltantes obtenidos mediante el uso del plan de compras y distribución del aplicativo permiten disminuir el costo de oportunidad actual de la empresa, ya que a pesar de que Almacenes Súper Día no tenía presente el impacto de tener ausencia de producto en las góndolas de cada punto de venta, los consumidores si mostraban inconformidad con algunas referencias. Por lo anterior, el mitigar la probabilidad de faltantes en los productos afianzará la fidelidad de los clientes, fomentando ser el *top of mind* de cada uno de ellos en cuanto a cultura, precio y disponibilidad de producto.
- La reestructuración del almacenamiento de acuerdo a la propuesta de distribución física de producto en bodega, permite disminuir el trabajo realizado en el cargue y descargue de mercancía en un 13,74% respecto a la distancia. Lo anterior, demostrando que para Almacenes Súper Día el bienestar de sus colaboradores es primordial para su operación.
- A partir de las visitas realizadas a Almacenes Súper día fue posible evidenciar que los operarios que realizan el abastecimiento de la bodega y preparación de órdenes para puntos de venta ejecutan desplazamientos con cargas que sobrepasan su capacidad. Lo anterior, puede generar problemas musculoesqueléticos que pueden tener repercusión en su operación y en la salud del trabajador. Por lo anterior, para posteriores estudios se recomienda realizar un estudio de ergonomía para las cargas adecuadas que debe manejar el operario.
- De acuerdo con el alcance del proyecto planteado, no se incluye el cálculo de los pronósticos de demanda como resultado del aplicativo. Por lo anterior, se recomienda adaptar la filosofía de machine learning para mejorar la propuesta del plan de compras, almacenamiento y plan de distribución proporcionando mejores resultados en los pronósticos de demanda de las diferentes referencias en los horizontes de planeación.
- Promover el uso del aplicativo en los distintos niveles de la organización permite que involucramiento e interés en la operación de Almacenes Súper Día S.A.

8. Glosario

Recopilación de definiciones o abreviaciones sobre la disciplina tratada en el documento. Las definiciones deben estar soportadas en referencias.

- **Método Smarter:** variante del método smart, es un método compensatorio cuyo objetivo principal es evaluar el valor multiatributo de las alternativas en un proceso de toma de decisiones y ofrecer un ranking de alternativas de acuerdo con su importancia (Morais, Schramm, & Costa, 2012).
- **Método lexicográfico:** técnica utilizada para clasificar y evaluar alternativas en orden de importancia bajo criterios establecidos previamente por el tomador de decisiones. (da Silva, Veloso Caldas de Vasconcelos, & Virginio Cavalcante, 2015)
- **Heurística:** es un procedimiento para el que se tiene un alto grado de confianza en el que se encuentran soluciones de alta calidad con un costo computacional razonable, aunque no garantiza optimalidad o factibilidad (Melián, Moreno Pérez, & Moreno Vega, 2003).
- **Metaheurística:** son estrategias inteligentes para diseñar o mejorar procedimientos heurísticos muy generales con un alto rendimiento (Melián, Moreno Pérez, & Moreno Vega, 2003).

- **Inventario:** es la verificación y control de los materiales o bienes patrimoniales de la empresa, que se realiza para regularizar la cuenta de existencias contables con las que se cuenta en los registros (Coalla & Meana, 2017).
- **Stock:** es una acumulación de material y/o producto final almacenado para su posterior venta al cliente (Coalla & Meana, 2017).
- **Existencias:** son aquellos productos que la empresa tiene en sus instalaciones para ser vendidas al cliente final o aquellos productos que se van a necesitar en algún momento del proceso productivo (Coalla & Meana, 2017).
- **Costo de oportunidad:** es la contribución a la utilidad operativa que se pierde o rechaza al no usar un recurso limitado en su siguiente mejor uso alternativo (Horngren, Datar, & Foster, 2007).
- **Efecto látigo:** es uno de los causantes de las fluctuaciones que experimenta la proyección de la demanda medida que se aleja del mercado a lo largo de la cadena de suministro, como consecuencia de falta de coordinación y sincronización entre los agentes intervinientes (Proveedores, fabricante, distribuidor, mayorista, minorista) (Mejía Villamizar, Palacio León, & Adarme Jaimes, 2014).
- **Góndola:** mueble expositor formado por un grupo de estanterías (García, Gómez Díaz, & González, 2015).
- **Algoritmo genético:** es una metaheurística que empieza con un conjunto de soluciones posibles, cada solución posible es un individuo que pertenece al conjunto denominado población. A partir de una población inicial, la cual es generada de forma aleatoria, se aplican los operadores genéticos, los cuales son: selección, mutación y cruce o recombinación (Borges Vasconcellos, Puch González, & Frías González, 2017).
- **NP hard:** es el conjunto de problemas de decisión con la siguiente propiedad: si la respuesta es sí, entonces hay una prueba de este hecho que se puede comprobar en tiempo polinomial. Intuitivamente, NP es el conjunto de problemas de decisión donde podemos verificar una respuesta sí rápidamente si se tiene la solución frente a nosotros (Erickson, 2014).
- **Machine learning:** es lo que se denomina como una “caja negra” en la que se resuelven problemas para los que ha sido entrenado. (Raya, 2015)
- **Desórdenes musculoesqueléticos:** es un conjunto de enfermedades de músculos, tendones nervios, articulaciones y huesos, los cuales abarcan una variedad amplia de síntomas y signos que pueden afectar distintas partes del cuerpo. (Fabio Salinas Durán, 2008)

9. Tabla de Anexos o Apéndices

No. Anexo	Nombre	Desarrollo	Tipo de archivo	Enlace corto	Relevancia documento
1	Justificación	Propio	Excel / PDF	https://drive.google.com/open?id=1e9cmjOI9Kz2SxCm01muJcQgZbP_DfipP	3
2	Instructivos	Propio	PDF	https://drive.google.com/open?id=1elYymqtYuVHbfAj2SvAfte2oPazMYIB6	4
3	Pronósticos	Propio	Excel / PDF	https://drive.google.com/open?id=1T-EC8A6-xkSv90HzSGLWlmqCvOt_Nc2d	5
4	Encuestas	Propio	PDF	https://drive.google.com/open?id=1xdGaTJeb1pYTrhS2EyHboGe_wmSCX0cw	4

5	Datos respuesta gusek	Propio	Excel	https://drive.google.com/open?id=197TY51EGvc0JGn5ZW0lWA486d21lCnaO	5
6	Modelo de programación lineal Gusek	Propio	Gusek Excel cvs	https://drive.google.com/open?id=1SPMXCsfeOujKLxoePMVG7Ezdg4lx3jVr	5
7	Aplicativo Almacenes Súper día instancias reducidas	Propio	Excel	https://drive.google.com/open?id=1gHhsLKMjd4Jzih3XqW3JRn4qFlADl7y	5
8	Aplicativo Almacenes Súper día	Propio	Excel	https://drive.google.com/open?id=1lBd4eODjFp-Aj3b1TvMX4iX1PIne4M4W	5
9	Simulaciones escenarios	Propio	Flexsim	https://drive.google.com/open?id=1gpzaIabYUE4pmurYI--d9wMONr8jma-6	5
10	Planos de bodega	Propio	AutoCAD	https://drive.google.com/open?id=1dBsb2HYB0RXPYFJM3zIgBIFYHQ14ChmY	4

Referencias

- Abud Figueroa, M. A. (2000). Calidad en la Industria del Software. La Norma ISO-9126. págs. 1-3.
- Alimentos, I. d. (s.f.). *INVIMA*. Obtenido de <https://www.invima.gov.co/>
- Armentanob, A. L. (2009). *A tabu search procedure for coordinating production*,. São Paulo.
- Askin, R. G., Baffo, I., & Xia, M. (2014). Multi-commodity warehouse locaion and distribution planning with inventory consideraion. *International Journal of Production Research*, 52(7), págs. 1897-1910.
- Borges Vasconcellos, D., Puch González, P., & Frías González, G. (2017). Control de demanda eléctrica aplicando algoritmos genéticos. *Revista chilena de ingeniería*, 25(3), págs. 389-398.
- Cardona, L. F., Soto, D. F., Rivera, L., & Martínez, H. J. (2015). Detailed design of fishbone warehouse layouts with vertical travel. *Int. J. Production Economics*, 170, págs. 825-837.
- Coalla, & Meana, P. P. (2017). *Gestión de inventarios*. Arganda del Rey, Madrid: Ediciones Paraninfa S.A.
- da Silva, D. D., Veloso Caldas de Vasconcelos, N., & Virginio Cavalcante, C. A. (2015). Multicriteria Decision Model to Support the Assignment of Storage Location of Products in a Warehouse. *Mathematical Problems in Engineering*, págs. 1-8.
- Erickson, J. (2014). *NP- Hard Problems*. Obtenido de <http://jeffe.cs.illinois.edu/teaching/algorithms/notes/30-nphard.pdf>
- Fabio Salinas Durán, L. H. (2008). *Rehabilitación en salud*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Fan Zhang, M. Z. (2010). Procurement Model for Supermarket Based on Category Management. págs. 1413-1417.
- Fernández, F., Arieta, R., Rodriguez-Orozco, Domínguez-Méndez, & Gaona-Guzmán. (s.f.). Costos de oportunidad de vacas gestantes sacrificadas en un ratro de Veracruz, México. *Agro Productividad*, 10(6), págs. 21-24.

- Fisher, Kök, A. G., & L., M. (Noviembre-Diciembre de 2007). Demand Estimation and Assortment Optimization Under Substitution: Methodology and Application. *Operations Research*, 55(6), págs. 1001-1021. doi:10.1287/opre.1070.0409
- García, Gómez Díaz, M. C., & González, M. A. (2015). *Dinamización del punto de venta*. Madrid, España: Ediciones Paraninfo S.A.
- Hernandez, F., Gendreau, M., & Potvin, J.-Y. (2017). Heuristics for tactical time slot management: a periodic routing problem view. *International transactions in operational research*, 24, págs. 1233-1252. doi: 10.1111/itor.12403
- Horngren, C. T., Datar, S. M., & Foster, G. (2007). *Contabilidad de costos*. México: Pearson.
- Jiménez Jiménez, R. A., Espinosa Ortiz, V., & Soler Fonseca, D. M. (enero-junio de 2014). El costo de oportunidad de la mano de obra familiar en la economía de la producción lechera de Michoacán, México. *Revista de investigación*, 5(1), págs. 47-57.
- Mateo, M., Aghezzaf, E.-H., & Vinyes, P. (2009). A Combined Inventory Routing and Game Theory Approach for a Real-Distribution Problem. págs. 1034-1039.
- Mejía Villamizar, J. C., Palacio León, O., & Adarme Jaimes, W. (22 de enero de 2014). Efecto látigo en la planeación de la cadena de abastecimiento, medición y control. *Universidad Militar Nueva Granada-Ciencia e ingeniería Neogranadina*, 23(2), págs. 37-54.
- Melián, B., Moreno Pérez, J. A., & Moreno Vega, J. M. (2003). Metaheuristics: A global view. *Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, 7(19), págs. 1988-3064. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/925/92571901.pdf>
- Morais, Schramm, F., & Costa, D. (2012). Decision Support Model for Selecting and Evaluating Suppliers in the Construction Industry. *Pesquisa Operacional*, 32(3), págs. 643-662. Obtenido de <http://www.scielo.br/pdf/pope/v32n3/aop2412.pdf>
- Mousavi, S. M., Haijpour, V., Akhavan Niaki, S. T., & Alikar, N. (15 de Febrero de 2013). Optimizing multi-item multi-period inventory control system with discounted cash flow and inflation: Two calibrated meta-heuristic algorithms. 37(4), págs. 2241-2256.
- Pal, A., Chan, F., Mahanty, B., & Tiwari, M. (15 de Mayo de 2011). Aggregate procurement, production, and shipment planning decision problem for a three-echelon supply chain using swarm-based heuristics. *International Journal of Production Research*, 40(10), págs. 2873-2905.
- Pérez, & Sánchez, J. (s.f.). Juegos cooperativos y sus aplicaciones económicas. *PERSPECTIVAS. Revista de Análisis de Economía, Comercio y Negocios Internacionales*, págs. 59-75.
- Puenayo, D. E., Londoño, J. C., Escobar, J. W., & Linfati, R. (julio-diciembre de 2014). Un algoritmo basado en búsqueda tabú granular para la solución de un problema de ruteo de vehículos considerando flota heterogénea. *Igenierías*, 13(25), págs. 81-98.
- Raya, A. M. (2015). *Big intelligence bis data (Nuevas Capacidades para los Sistemas de Vigilancia Estratégica e Inteligencia Competitiva)*. Madrid: EOI.

- Reza, S., Alavi, R., & Rizk, S. A. (2017). Genetic Algorithm-Simulation Framework for Decision Making in Construction Site Layout Planning. *J. Constr. Eng. Manage*, 143(1), págs. 1-13. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001213
- Shin, J., & Lee, J. H. (2016). Multi-time scale procurement planning considering multiple suppliers and uncertainty in supply and demand. *Computers and Chemical Engineering*, 91, págs. 114-126.
- Simon Thevenin, N. Z. (26 de Abril de 2017). *Model and metaheuristics for a scheduling problem*. Obtenido de <https://link-springer-com.ezproxy.javeriana.edu.co/content/pdf/10.1007%2Fs10479-017-2498-z.pdf>
- Soleimani, H., Seyyed-Esfahani, M., & Shirazi, M. A. (2013). Designing and planning a multi-echelon multi-period multi-product closed-loop supply chain utilizing genetic algorithm. *Int J Manuf Technol*, 68, págs. 917-931. doi:10.1007/s00170-013-4953-6