

Universidad de Lima
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Carrera de Ingeniería Industrial



GESTIÓN DE RUTAS A TRAVÉS DEL USO DE MODELOS BASADOS EN ALGORITMOS

Trabajo de investigación para optar el grado académico de bachiller en Ingeniería
Industrial

Ana Paula Bravo Quispe

Código 20160196

Claudia Lizete Yupanqui Aguilar

Código 20161583

Claudia Vanessa Cribillero Meza

Código 20161958

Diego André Ocharan Rojas

Código 200161013

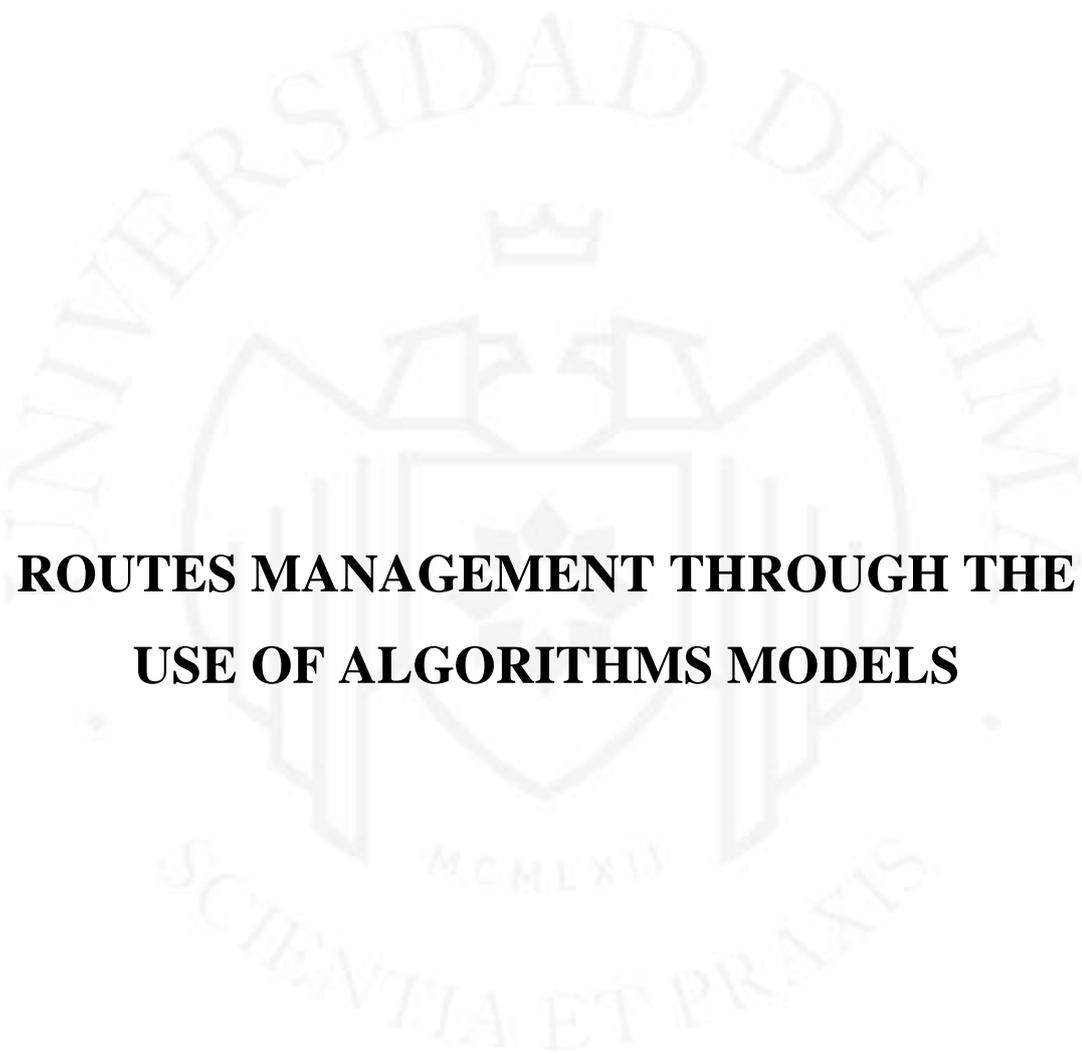
Vanya Georgina Patricio Miranda

Código 20161088

Asesor

Alex Antonio Vidal Paredes

Lima – Perú
Marzo de 2021



**ROUTES MANAGEMENT THROUGH THE
USE OF ALGORITHMS MODELS**

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	vi
ABSTRACT.....	vii
INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LA LITERATURA	3
MODELOS O SUPUESTOS.....	10
CONCLUSIONES	13
REFERENCIAS.....	14



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Puntos de optimización en la cadena de suministros	1
Figura 2.1 Ejemplo de método de barrido	6
Figura 2.2 Distancia reducida de viaje mediante consolidación de paradas de una ruta	7
Figura 2.3 Diagrama de flujo.....	9
Figura 3.1 Modelo matemático TSP.....	12
Figura 3.2 Restricciones del modelo matemático con múltiples vehículos.....	9



RESUMEN

Se conoce que los problemas de ruteo en las planificaciones logísticas tienen una importancia relevante para las organizaciones, generando desde inconvenientes económicos hasta contratiempos en todas las operaciones de la cadena de suministros, es por esto que distintos profesionales dedicados a las operaciones logísticas enfocaron proyectos en optimizar modelos con los cuales puedan resolver esta problemática que afecta tanto de manera directa, como indirectamente a procesos internos y externos de las organizaciones.

Es por eso, que en el presente trabajo se realizará una revisión a la bibliografía, donde se identificará la importancia que tiene la optimización de las rutas que se elaboran para los procesos logísticos y para la cadena de suministros en la actualidad, también se analizará el enfoque de los conceptos propuestos por diversos autores, así como los modelos de problemas de ruteo de vehículos incluyendo la descripción por cada uno de los tipos de clasificación, luego se describirán algunas de las metodologías más empleadas para la resolución de los VRP.

Posteriormente se determinó de acuerdo con la información presentada, que los algoritmos más usados en la actualidad para la elaboración de modelos de optimización de la gestión y elaboración de rutas son los heurísticos, metaheurísticos, exactos y las matheuristics, concluyendo que este último es el mejor debido a su flexibilidad y adaptabilidad frente a las distintas restricciones presentadas, como a los problemas que surgen derivados de los diferentes procesos logísticos.

Por último se mostrará un modelo realizado por la Universidad Nacional de Colombia en la que se usa un algoritmo memético (metaheurístico) para un problema de recojo y entrega de mercadería, en el cual se demuestra que el uso de este tipo de algoritmos para la creación de modelos puede ser de ayuda para la mejora de los procesos, mejorando su eficiencia.

Palabras claves: ruteo, heurístico, metaheurístico, matheuristics, VRP, logística, cadena de suministros, algoritmos.

ABSTRACT

It is known that routing problems in logistics planning are of high importance for organizations, generating from economic problems to setbacks in all operations of the supply chain. For this reason, several professionals dedicated to logistics operations have focused on optimizing models that can solve this problem, which affects both directly and indirectly to internal and external processes of organizations.

For this reason, this paper will review the literature, which identifies the importance of optimizing the routes that are developed for logistics processes and the supply chain nowadays, also analyze the approach of the concepts proposed by various authors, as well as the models of vehicle routing problems including the description for each of the types of classification, then describe some of the most used methodologies for solving the VRP.

Subsequently it was determined according to the information presented, that the most used algorithms at present for the development of models of optimization of management and elaboration of routes are the heuristics, metaheuristics, exact and matheuristics, concluding that the latter is the best due to its flexibility and adaptability to the different restrictions that are applied, as well as the problems that arise derived from the different logistics processes.

Finally, it will be shown a model made by the National University of Colombia in which a memetic algorithm (metaheuristics) is used for a problem of pickup and delivery of merchandise, in which it is demonstrated that the use of this type of algorithms for the creation of models can be of help for the improvement of the processes looking for improve the efficiency.

Keywords: routing, heuristics, metaheuristics, matheuristics, VRP, logistics, supply chain, algorithms.

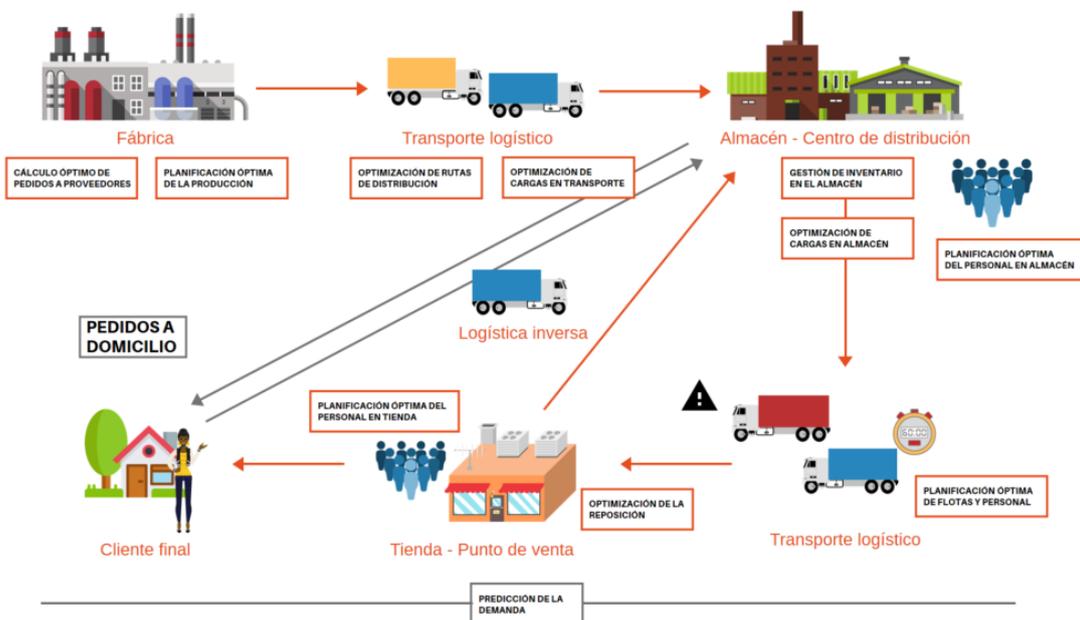
INTRODUCCIÓN

Se ha evidenciado a lo largo de los últimos años que a pesar del desarrollo de la cadena de suministro, siguen existiendo diversos puntos de mejora en esta para conseguir una planificación logística integral y óptima; entre los cuales está “la optimización de rutas de distribución”.

A continuación se muestra una infografía presentada por Decide, una de las empresas españolas dedicadas al desarrollo de sistemas basados en analítica avanzada e IA para mejorar y automatizar la toma de decisiones en el ámbito de la planificación.

Figura 1.1

Puntos de optimización en la cadena de suministros



Nota. De “Puntos a optimizar en la cadena de suministro”, por Decide, 2020 (<https://decidesoluciones.es/infografia-optimizar-cadena-de-suministro/>)

Una correcta planificación y modelamiento de las rutas empleadas es esencial por su relevancia a lo largo de toda la cadena de suministro. Se ha vuelto un punto crítico evaluado por expertos, los cuales estiman constantemente nuevas posibilidades para el desarrollo de estas, buscando una mejora y optimización en las diferentes metodologías que se vienen empleando hasta el momento.

Por lo que la pregunta a desarrollar en este trabajo es la siguiente, ¿Cómo se puede resolver este problema, reduciendo el margen de error e impacto hacia la cadena de suministro? Se buscará abordar una serie de herramientas que en los últimos años están teniendo una gran repercusión en su uso para este tipo de problemas cotidianos en empresas de toda envergadura.

Lo que se estará mostrando es una variedad de escenarios, en los cuales el uso de algoritmos para el desarrollo de modelos cobró relevancia debido a su eficiencia para encontrar mejores soluciones al problema de las deficientes planificaciones de rutas que se llevaban a cabo, siendo esta una alternativa a ser analizada y que satisface la necesidad de mejorar estos sistemas de ruteos.



REVISIÓN DE LA LITERATURA

El presente trabajo de investigación busca evaluar los variados aspectos que involucra realizar una buena gestión de rutas, utilizando las diferentes herramientas de diseño como algoritmos de búsqueda para la agilización en el modelamiento de estas. Para esto, es necesario definir los conceptos con respecto al tema referido, como también entender la importancia de contar con una óptima gestión de rutas. Guasmayan (2014) sustenta que “el problema de ruteo de rutas es un problema de combinatorias que te permite atender completamente un conjunto de clientes”, mientras que el grupo Deca sustenta que una buena gestión de rutas cumple de manera más satisfactoria las necesidades de los consumidores, incrementa las ganancias y competitividad de la empresa en el mercado moderno (2018). Asimismo, Alfredo García, Catedrático del Departamento de Economía, Métodos Cuantitativos e Historia Económica de la Universidad Pablo de Olavide, señala que:

La gestión de rutas para los vehículos consiste en definir una planificación óptima (de menor coste o de mayor nivel de servicio y riesgo) para la flota de transportes. Esta diligencia surge debido a la poca capacidad de análisis que tiene una persona para contemplar tantas decisiones probables; es por eso que gracias a los avances en computación, capacidad de cálculo, almacenamiento y tratamiento de datos, han ganado en popularidad y eficacia los algoritmos como instrumento para su uso en esta materia. (como se citó en Julian Sastre - Consultoría de transportes y ciudad, 2017)

En la misma entrevista llevada a cabo el 2017, se le consultó acerca de cuáles eran las técnicas que se utilizan para la optimización de rutas, donde indicó que son diversas las metodologías empleadas en la actualidad, él hace hincapié en que hace unos años el uso de la programación lineal y el método simplex eran suficientes, sin embargo estos tenían demasiados problemas cuando se deseaba resolver modelos de un tamaño medio o uno real, pues cómo se sabe en la vida real los problemas no son lineales, lo cual generaba grandes problemas de abordaje; sin embargo con los avances actuales se determinó que los

algoritmos metaheurísticos y los matheuristics (híbridos de algoritmos exactos con metaheurísticos) están funcionando muy bien. (como se citó en Julian Sastre - Consultoría de transportes y ciudad, 2017)

Para tener un mejor entendimiento de como las empresas gestionan el planeamiento del ruteo de vehículos se procederá a especificar los diferentes tipos.

El problema de ruteo de vehículos o VRP, según sus siglas en inglés, se puede dividir en dos categorías: homogéneo y heterogéneo (Rocha Medina *et al.*, 2011). El primero hace referencia a que los nodos tienen características en común, es decir que comparten recursos. A diferencia de estos los modelos heterogéneos se dan en un contexto en que cada nodo tiene recursos diferentes.

Con respecto a los modelos de VRP homogéneos, estos se pueden clasificar en:

- DVRP (*Distance VRP*): En este modelo la restricción es la distancia recorrida o el tiempo de recorrido.
- VRPTW (*VRP with time windows*): Este modelo considera las ventanas horarias en que se debe llegar a cada destino.
- VRPB (*VRP with blackhails*): Se considera que se puede retornar mercadería en algún nodo, lo cual disminuye la capacidad disponible de la flota.
- SDVRP (*Split delivery VRP*): Considera que un mismo punto puede ser atendido por varios vehículos.

Los modelos VRP heterogéneos, son los siguientes:

- VRPHF (*VRP Heterogeneous Fleet*): Considera que las características de los vehículos son diferentes, puede ser con respecto a costos o capacidad disponible.
- PVRP (*Periodic VRP*): Se planifica el ruteo para “n” cantidad de días.
- *Multi-trip VRP*: Se considera que cada vehículo puede ejecutar varias rutas durante el plazo de ejecución determinado.
- MCVRP (*Multi Capacity VRP*): Plantea como escenario que la flota tenga compartimentos, por lo que cuenta con más de una capacidad.
- MOVPRP (*Multi Objective VRP*): Este modelo es aplicable cuando se requiere cumplir con más de un objetivo; reducir costos, mejorar servicio, entre otros.

- SVRP (*Stochastic VRP*): Considera algunas variables como aleatorias, puede ser con respecto a la demanda de cada punto de destino o la ventana horaria de estos.

Existen diversos tipo de algoritmos que sirven como métodos para la solución de VRP, los cuales se usan en la actualidad como se mencionó anteriormente; entre estos se encuentran los mencionados por Alfredo García:

- Heurísticas: Según Reeves, define la heurística como una técnica que, aunque no garantiza soluciones óptimas, es capaz de encontrar buenas soluciones (subóptimas en la mayoría de los casos) con un tiempo de cálculo factible. (como se citó en Lima *et al.*, 2018, p.2)
- Metaheurísticos: Según Reeves, la metaheurística se caracteriza por guiar un conjunto de heurísticas y ha sido particularmente útil para resolver complejos problemas de optimización. (como se citó en Lima *et al.*, 2018, p.2) Existen diversos dentro de este grupo, desde los algoritmos genéticos hasta los más recientes, esquemas auto adaptativos y algoritmos basados en descomposición, entre otros como la búsqueda tabú, búsqueda dispersa, entornos variables, meméticos y demás. (Julian Sastre - Consultoría de transportes y ciudad, 2017)
- Exactos: Tiene un uso extenso en escenarios de escala media, sin embargo su uso de tiempo alto para hallar las soluciones es inviable para la mayoría de los procesos, a pesar de la exactitud de los resultados. (Julian Sastre - Consultoría de transportes y ciudad, 2017)
- Matheuristics: Esta es una solución híbrida con operadores exactos de programación matemática que se mejoran con procesos metaheurísticos. (Julian Sastre - Consultoría de transportes y ciudad, 2017)

En base a lo mencionado anteriormente podemos identificar los siguientes métodos de programación y diseño de rutas más usados, los cuales dependen de restricciones prácticas tales como la capacidad en peso y volumen de las diferentes unidades de transporte, así como el tiempo máximo de conducción por ruta, distintas velocidades en diferentes zonas, barreras para viajar y tiempos de descanso para el conductor.

Método de barrido: Según Bellou, este método tiene dos etapas, la primera consiste en la asignación de las paradas a las unidades de transporte y la segunda determina la secuencia de las paradas dentro de las rutas con el objetivo de minimizar la distancia total recorrida;

sin embargo, tiene la opción de dar resultados favorables siempre y cuando esté sujeto a restricciones (como se citó en Serna, 2017, p.31)

- El volumen de parada es una pequeña fracción de la capacidad de la unidad de transporte
- Todas las unidades tienen la misma capacidad en peso y volumen
- No existen restricciones de tiempo en las rutas

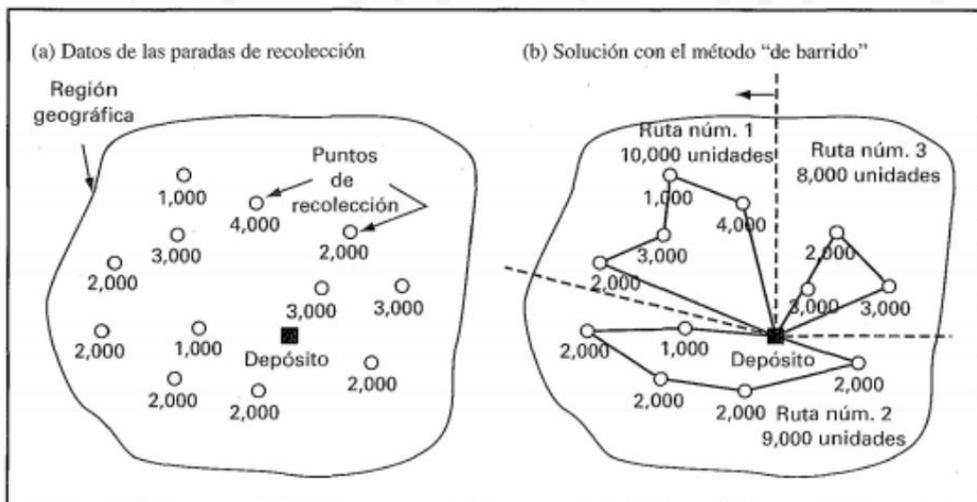
Este método consiste en los siguientes pasos:

- Localizar las paradas, incluyendo el almacén o centro de distribución en el mapa.
- Trazar una línea recta desde el almacén o centro de distribución en cualquier dirección.
- Girar la línea en sentido de las manecillas del reloj hasta que se intercepte una parada.

A continuación, podemos observar un ejemplo práctico del método de barrido

Figura 2.1

Ejemplo de método de barrido



Nota. De "Principios para una buena programación y diseño de rutas", por R.H. Ballou, *Logística: Administración de la cadena de suministro*, p. 241, 2005, Pearson Prentice Hall.

Método de ahorro: Este método tiene como finalidad reducir el número de unidades de transporte necesario para atender todos los puntos de pedido, siendo capaz de presentar soluciones óptimas combinando paradas dentro de una ruta de manera que se reduzcan el desplazamiento total de las unidades y se maximice el uso de la capacidad de estas (Batista *et al.*, 2019, p.6)

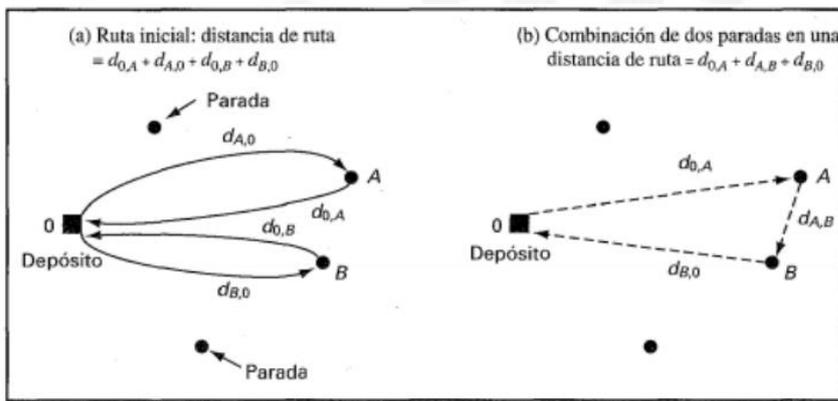
Según Serna (2019) el algoritmo de Clarke y Wright, también es conocido como método de ahorro, “consiste en conectar los clientes de a pares con la estación y calcular los ahorros que se obtienen en cuanto a costos de transporte se refiere, jerarquizar las opciones de unión por ahorros decrecientes y adoptar la alternativa de unión donde se obtenga el máximo ahorro, el cual debe ser congruente con el número de vehículos y capacidades de los mismos” (p.33)

Este método se desarrolla partiendo de una solución con dos rutas (0,..a,..0) y (0,..b,..0), las cuales pueden ser combinadas generando así una sola ruta óptima (0,..a,b,..0)

A continuación podemos observar un ejemplo práctico del método de ahorro

Figura 2.2

Distancia reducida de viaje mediante consolidación de paradas de una ruta



Nota. De “Principios para una buena programación y diseño de rutas”, por R.H. Ballou, *Logística: Administración de la cadena de suministro* (p. 244), 2005, Pearson Prentice Hall.

El ahorro se calcula usando la siguiente ecuación:

$$S(a,b) = d(a,0) + d(0,b) - d(a,b)$$

donde:

- S(a,b): Ahorro que se percibe del nodo a al nodo b
- d(a,0): Costo del nodo a al nodo de origen
- d(0,b): Costo del nodo de origen al nodo b
- d(a,b): Costo del nodo a al nodo b

Método de inserción en paralelo: El algoritmo propuesto por Christofides, Mingozi y Toth está compuesto de dos etapas que “determinan la cantidad de rutas a utilizar aplicando la primera fase del algoritmo de Mole y Jameson para obtener rutas compactas y conservar los clientes iniciales para luego crear las rutas e inserta el resto de los clientes”. (Rocha *et al.*, 2015, p.46)

La primera etapa consiste en determinar la cantidad de rutas a usar con un cliente para iniciar cada una de las rutas, sin prestar mucha atención a la ubicación de cada cliente en las rutas. (Rocha *et al.*, 2015, p.46)

En la segunda etapa se crean dichas rutas y se incorpora el resto de los clientes con la ruta en la que el costo de insertarlo es minimizado. Para decidir en qué orden se deben insertar los clientes a las respectivas rutas se calcula la diferencia entre el costo de realizar la incorporación en esa ruta y en la segunda mejor opción por cada cliente, priorizando a aquellos con la mayor diferencia. (Rocha *et al.*, 2015, p.46)

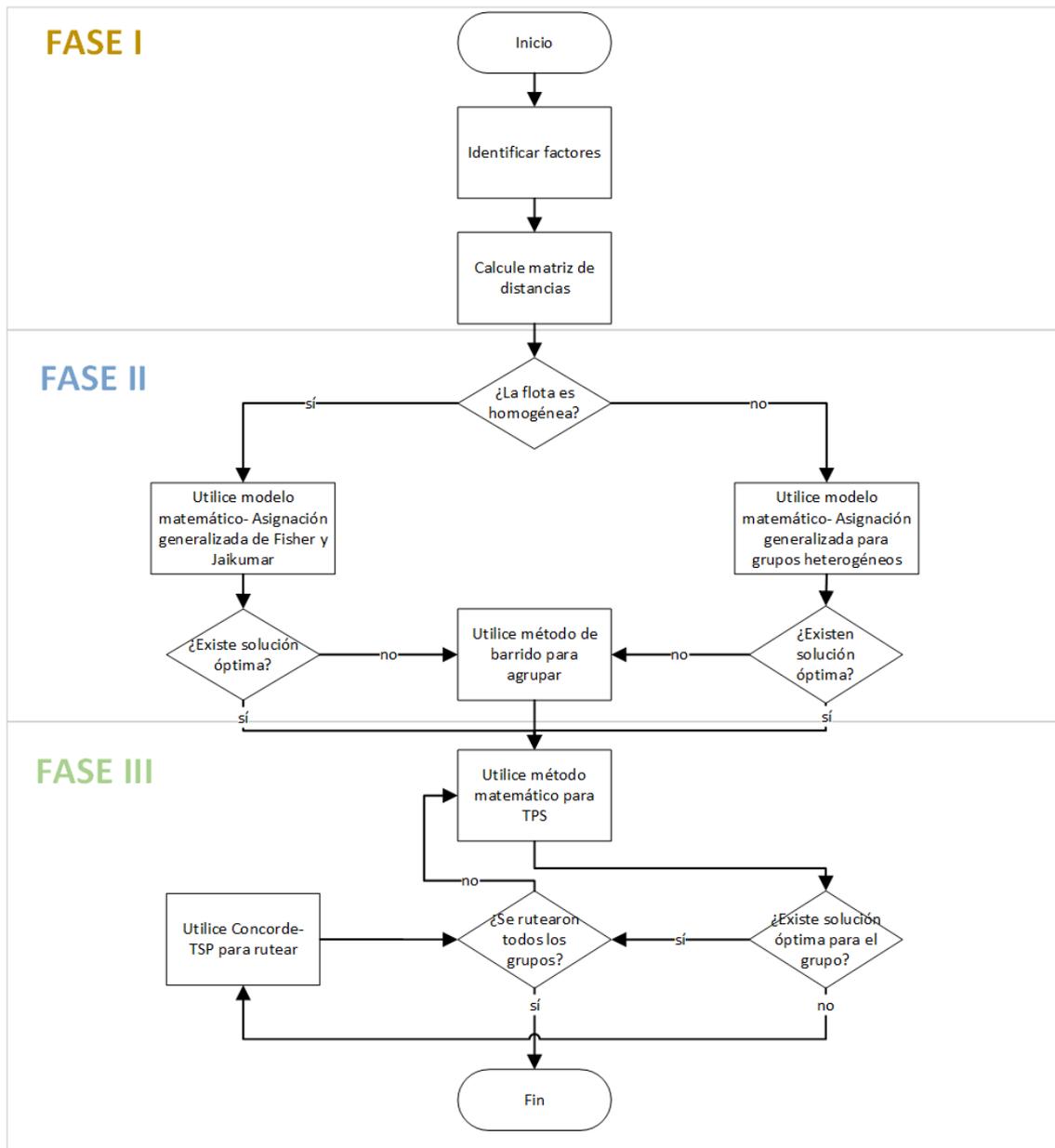
Para la implementación de cualquiera de los métodos propuestos anteriormente en las diversas empresas u organizaciones se lleva a cabo en el desarrollo de tres fases, las cuales tendrán como objetivo cumplir con los siguientes puntos, los cuales fueron tomados como referencia según lo establecido por Guazmáyan (2014):

- Diagnóstico del problema de la empresa u organización
- Identificación del modelo matemático óptimo para el problema identificado
- Diseño de un algoritmo con adecuado lenguaje de programación con los respectivos resultados de la ejecución
- Examinar y evaluar todas las posibles restricciones del modelo de programación
- Controlar y evaluar los resultados con el objetivo de validar la mejor solución obtenida

Para un mejor entendimiento se mostrará un diagrama de flujo para visualizar cómo se lleva la implementación del modelo VPR en las empresas u organizaciones

Figura 2.3

Diagrama de flujo



Nota. Adaptado de “Método de tres fases para la solución del ruteo de buses escolares, 2018”, por D. F. Escobar, J. E. Gaviria, J. P. Orejuela, Revista espacios, p.6 (<http://www.revistaespacios.com/a18v39n50/18395006.html>)

MODELOS O SUPUESTOS

En esta sección del trabajo de investigación se busca presentar un modelo mediante el cual se pueda ejemplificar lo tratado anteriormente; es decir, modelos mediante los cuales se puedan establecer finalmente rutas de entrega óptimas y estas puedan ser aplicadas dentro del proceso de logística de salida de diferentes organizaciones. La ruta óptima usualmente se basa en buscar los siguientes objetivos: reducción de tiempos, reducción de costos asociados, mejorar tiempos de entrega, mayor capacidad de respuesta, entre otros. Existen múltiples métodos, en distintos grados de complejidad, mediante los cuales se puede optimizar la solución final buscando únicamente un solo objetivo de los antes mencionados, 2 de ellos o todos en conjunto.

Conociendo ello, presentamos un modelo desarrollado en la Universidad de Colombia en la cual se desarrolla un problema de ruteo, partiendo desde uno bastante sencillo y a partir de él se van incrementando las restricciones asociadas al modelo y la complejidad de este.

Se parte del siguiente modelo:

Figura 3.1

Modelo Matemático TSP

$$\min : \sum_{i,j \in V} c_{ij} x_{ij}$$

sujeto a:

$$\sum_{i \in V} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in V$$

$$\sum_{j \in V} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V$$

$$i, j \in A(S, S) \quad \forall S \subseteq V \setminus \{n\}, S \neq \emptyset, \text{ con } A(S, S) = \{(i, j) \in A : i \in S, j \notin S\}$$

Nota. Adaptado de “Modelo multi-agente para problemas de recogida y entrega de mercancías con ventanas de tiempo usando un algoritmo memético con relajaciones difusas”, por S. Urán (pp. 55–56), 2016 (<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57426/15488758.2016.pdf?sequence=1>)

Dentro de ello se tiene como función objetivo de reducir los costos asociados a cada uno de los recorridos, y dentro de las restricciones se han considerado: que cada punto de entrega será visitado y se partirá de él una única vez. (Serna, 2016)

Luego de ello, se complementa adaptando el modelo a uno que sea capaz de trabajar múltiples unidades de transporte y manteniendo la función objetivo inicial, con ello se obtiene el modelo matemático:

Figura 3.2

Restricciones del modelo matemático con múltiples vehículos

1	$\sum_k \sum_j x_{ij}^k = 1$	6	$x_{i,j}^k = 1 \rightarrow \varphi_j^k \geq \varphi_i^k + d_j$
2	$\sum_i x_{i,n+\bar{n}+1}^k = 1$	7	$Max \{0, d_j\} \leq \varphi_i^k \leq min\{\beta_k, \beta_k + d_j\}$
3	$\sum_i x_{i,n+\bar{n}+1}^k = 1$	8	$\varphi_0^k = -\sum_i d_j \sum_i x_{i,j}^k$
4	$\sum_i x_{i,j}^k - \sum_i x_{j,i}^k = 0$	9	$e_i \leq B_i^k \leq \tau i$
5	$x_{(i,j)}^k = 1 \rightarrow B_j^k \geq B_i^k + s_{ik} + t_{jk}$	10	$B_{v+j}^k - B_0^k \leq T^k$

Nota. Adaptado de “Modelo multi-agente para problemas de recogida y entrega de mercancías con ventanas de tiempo usando un algoritmo memético con relajaciones difusas”, por Serna Urán, 2016, p.58 (<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57426/15488758.2016.pdf?sequence=1>)

En este modelo se han considerado las siguientes restricciones:

1. Se llega a cada destino solo una vez.
2. Todos los vehículos realizan su recorrido partiendo de un solo punto de inicio.
3. Todos las unidades hacen un recorrido y llegan al punto de inicio.
4. Ningún vehículo permanece estático.
5. Si el vehículo recorre el nodo (i, j) el tiempo de inicio en j es mayor que el inicio en i más la duración del servicio en i más el tiempo de recorrido (i, j)
6. Si el vehículo viaja de i a j entonces la carga de salida de j es mayor que la carga de salida de i más la carga de recogida en j
7. La cantidad de salida está entre el máximo valor de cero y la carga φ_i y el mínimo valor de la máxima capacidad y la máxima capacidad más la carga φ_i
8. La carga inicial del vehículo es igual a la cantidad total que debe entregar

9. Ventana de tiempo
10. El tiempo de regreso al depósito menos el tiempo de
11. Inicio de jornada, no debe superar la duración del turno de trabajo. (Serna, 2016)

Tal como se ha mostrado anteriormente, con los dos modelos matemáticos presentados, la tesis presentada continúa desarrollando una serie de modificaciones dentro de este modelo volviendo cada vez más completo. Dentro de las demás versiones mostradas se tienen modelos que trabajan con dos ventanas de tiempo.



CONCLUSIONES

- Se puede concluir que para que una empresa pueda reducir los costos logísticos, los cuales representan gran porcentaje de los costos incurridos por la empresa, se puede hacer uso de modelos logísticos propuestos. Estos modelos facilitarán el proceso de planeación de rutas y asegurarán la eficiencia de los resultados.
- Se concluye que el tipo de algoritmo más completo en la actualidad son las matheuristics, por su gran despliegue entre sus aplicaciones en modelos para la realización de las rutas, por lo que se debe seguir estandarizando y aumentando más su uso para la mejora de los procesos logísticos y optimización de los sistemas de ruteos.
- Se llega a la conclusión que el modelamiento para el diseño de un plan de rutas de distribución trae consigo una serie de beneficios los cuales son finalmente percibidos tanto por la organización mediante un proceso más eficiente, como por los diferentes niveles de clientes de esta; pues una optimización de este proceso deriva en una reducción de costos y con ello se puede lograr llegar con menor precio de venta final.
- Se concluye que el avance en el desarrollo de modelos para la optimización de rutas ha surgido debido al cambio en los procesos logísticos de las empresas. Debido a que la optimización puede ser orientada a costos o a mejorar servicio, y que el modelo debe cumplir con todos los requerimientos de la empresa se puede evidenciar que el desarrollo de estos modelos será constante en el tiempo.
- Se concluye que es posible la disminución de costos logísticos a través de la formulación de diferentes métodos de programación y diseño de rutas; sin embargo, estos están sujetos a diferentes restricciones prácticas que tienen implicancia directa en los resultados de estos.

REFERENCIAS

- Batista, R., Lao, Y., & Moreno, M. (2019, agosto). Una mirada al ruteo de vehículos: métodos, técnicas y análisis bibliométrico. *Revista de investigación Latinoamericana en Competitividad Organizacional*, (3).
<https://www.eumed.net/rev/rilco/03/ruteo-vehiculos.html>
- Decide Soluciones S.L. (2020, Enero 30). *Puntos a optimizar en la cadena de suministro*. Decide soluciones. <https://decidesoluciones.es/infografia-optimizar-cadena-de-suministro/>
- Escobar Morales, D. F., Gaviria Cano, J. E., & Orejuela Cabrera, J. P. (2018). Método de tres fases para la solución del ruteo de buses escolares. *Revista espacios*, 39(50), 6.
<http://www.revistaespacios.com/a18v39n50/18395006.html>
- Grupo Deca. (2018, Julio 2). *La importancia del control de rutas en la logística de transporte*. Innovaciones que brindan autonomía.
<https://www.grupodeca.com.mx/la-importancia-del-control-de-rutas-en-la-logistica-de-transporte/>
- Guasmayan, F. A. (2014, Febrero). Solución del problema de ruteo de vehículos dependientes del tiempo utilizando un algoritmo genético modificado. *Universidad tecnológica de Pereira*, 12.
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4562/5196G917.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Julian Sastre - Consultoría de transportes y ciudad. (2017). *La importancia de la optimización de rutas – Entrevista Alfredo García Hernández-Díaz – Los maestros del transporte*. Julian Sastre. <https://juliansastre.com/la-importancia-de-la-optimizacion-de-rutas/>
- Lima, t. J. d. A., de Araújo, S. A., & Triguís Schimit, P. H. (2018). A hybrid approach based on genetic algorithm and nearest neighbor heuristic for solving the capacitated vehicle routing problem. *Acta Scientiarum. Technology*, 1(36708), 10. Scopus. 10.4025/actascitechnol.v40i1.36708

- Rocha, L., Gonzalez, C., & Orjuela, J. (2015). Una revisión al estado del arte del problema de ruteo de vehículos: Evolución histórica y métodos de solución. *Ingeniería*, 16(2), 35-55.
- Rocha Medina, L. B., González La Rota, E. C., & Orjuela Castro, J. A. (2011). Una revisión al estado del arte del problema de ruteo de vehículos. *Ingeniería*, 16(2), 35-55.
- Serna, E. (2017). *Desarrollo e Innovación en Ingeniería*. Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.
https://www.researchgate.net/profile/Jhon_Fredy_Narvaez/publication/320170890_Desarrollos_de_la_Ingenieria_ambiental_en_la_evaluacion_de_la_calidad_de_los_recursos_naturales_y_la_salud_ambiental/links/59d26bfca6fdcc181ad611ce/Desarrollos-de-la-Ingenieria-a
- Serna Urán, C. A. (2016). *Modelo multi-agente para problemas de recogida y entrega de mercancías con ventanas de tiempo usando un algoritmo memético con relajaciones difusas*.
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57426/15488758.2016.pdf?sequence=1>