



Proceso de diseño y planificación de rutas de transporte para mejorar los tiempos de entrega

Process of design and planning of transport routes to improve delivery times

Processo de desenho e planejamento de rotas de transporte para melhorar os prazos de entrega

Darwin Rodrigo Cachimuel-Iza ^I
rodripatolin14@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-4748-7031>

Ramón Elías Monar-Albán ^{II}
monarelias95@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6986-1317>

Víctor Alfonso Garay-Cisneros ^{III}
vgaray@tecnoecuadoriano.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6739-9309>

Pedro Gabriel Velasquez-Molina ^{IV}
pvelasquez@istte.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8042-1208>

Correspondencia: rodripatolin14@gmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

***Recibido:** 26 de febrero de 2022 ***Aceptado:** 18 de marzo de 2022 * **Publicado:** 1 de abril de 2022

- I. Participante Investigador, Estudiante Tecnología Superior en Planificación y Gestión del Transporte Terrestre, Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuadoriano, Quito, Ecuador.
- II. Participante Investigador, Estudiante Tecnología Superior en Planificación y Gestión del Transporte Terrestre, Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuadoriano, Quito, Ecuador.
- III. Docente investigador. Director de Vinculación con la sociedad. Miembro del Consejo Académico Superior ISTTE. Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuadoriano, Quito, Ecuador.
- IV. Docente Investigador. Coordinador de Vinculación de la carrera Planificación y Gestión del Transporte Terrestre, Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuadoriano, Quito, Ecuador.

Resumen

En las relaciones comerciales actuales el transporte tiene una importancia extraordinaria permite que un cliente reciba mercancías o productos sin importar la distancia al proveedor. En principio las rutas que seguían estas mercancías fueron diseñadas empíricamente, pero a medida que se incrementaron se fue complicando la planificación y diseño rutas, hoy en día la logística se encarga de que las rutas sean más eficientes, más cortas, duren menos tiempo en realizar el transporte y por ende reducir el costo, que es una cantidad muy representativa en el precio final de un producto o servicio. Para la resolución de estos problemas del tipo VRP como el STP se cuentan con herramientas computacionales que apoyan en la respuesta de los algoritmos empleados como el de Clarke y Wright. El objetivo general de esta investigación es analizar los procesos de diseño y planificación de rutas de transporte para mejorar los tiempos de entrega. La metodología se basó en una investigación no experimental, documental y descriptiva exploratoria. Los resultados que se determinaron fueron la posibilidad del trazado de rutas con la presentación de estas de varias maneras y obteniendo reducción del recorrido, en kilómetros en tiempo y en coste.

Palabras claves: transporte; rutas; diseño; planificación; algoritmos.

Abstract

In today's business relationships, transportation is of extraordinary importance, allowing a customer to receive merchandise or products regardless of the distance to the supplier. In principle, the routes that these goods followed were designed empirically, but as they increased, the planning and design of routes became more complicated. Today, logistics ensures that the routes are more efficient, shorter, take less time to carry out the transport and therefore reduce the cost, which is a very representative amount in the final price of a product or service. To solve these problems of the VRP type, such as the STP, there are computational tools that support the response of the algorithms used, such as that of Clarke and Wright. The general objective of this research is to analyze the design and planning processes of transport routes to improve delivery times. The methodology was based on a non-experimental, exploratory documentary and descriptive field research. The results that were determined were the possibility of tracing routes with the presentation of these in various ways and obtaining a reduction in the route, in kilometers in time and in cost.

Keywords: transport; routes; design; planning; algorithms.

Resumo

Nas relações comerciais atuais, o transporte é de extraordinária importância, permitindo que um cliente receba mercadorias ou produtos independentemente da distância do fornecedor. Em princípio, as rotas que essas mercadorias percorriam eram desenhadas empiricamente, mas à medida que aumentavam, o planejamento e o desenho das rotas se tornavam mais complicados. Hoje, a logística garante que as rotas sejam mais eficientes, mais curtas e com menos tempo de execução. transporte e, portanto, reduzir o custo, que é um valor bastante representativo no preço final de um produto ou serviço. Para resolver esses problemas do tipo VRP, como o STP, existem ferramentas computacionais que suportam a resposta dos algoritmos utilizados, como o de Clarke e Wright. O objetivo geral desta pesquisa é analisar os processos de projeto e planejamento de rotas de transporte para melhorar os prazos de entrega. A metodologia baseou-se em pesquisa descritiva não experimental, documental e exploratória. Os resultados que se apuraram foram a possibilidade de traçar rotas com a apresentação destas de várias formas e obter uma redução no percurso, em quilômetros em tempo e em custo.

Palavras-chave: transporte; rotas; Projeto; planejamento; algoritmos.

Introducción

En la actualidad, las relaciones comerciales de la sociedad están marcadas por la inmediatez de las respuestas a las expectativas del consumidor, sin importar si este consumidor es una persona, una empresa o un país, el tiempo en el cual se recibe un producto o servicio es cada vez menor, grandes empresas comerciales han basado su éxito en reducir el tiempo que pasa desde que se hace un pedido hasta que es recibido en la puerta de su casa o empresa. Las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) han tenido mucho que ver, pues la interconectividad mundial hace posible que la distancia entre vendedor y cliente no sea un inconveniente. En todas estas situaciones está presente el transporte como actividad fundamental para lograr la satisfacción del cliente.

La logística en las empresas para Julcapari (2018) es una actividad interdisciplinaria que incluye diferentes departamentos de la organización, desde programar las compras hasta el servicio postventa. Uno de los objetivos de la logística es determinar y coordinar de forma correcta el traslado de productos hacia el cliente, considerando el producto, cliente, lugar y tiempo correcto según Mora citado por Julcapari (2018)

Para Guillen y Valdivieso citado por Garcia y Merino (2020) la correcta administración de las operaciones logísticas tiene como objetivo entregar los productos o servicios en el lugar deseado, la cantidad correcta, en el momento oportuno y en las condiciones adecuadas, y todo esto se mide a través del nivel de satisfacción al cliente, consiguiendo al mismo tiempo incrementar las utilidades de la empresa.

García (2020) menciona que, la logística es el arte de mover y almacenar, el movimiento (transporte) es la parte de la actividad logística con mayor repercusión económica e incluso social. Se puede decir que sin transporte no hay comercio y sin comercio no hay actividad económica sostenible. Según Mendoza, Alfaro y Paternina citados por Julcapari (2018) el transporte siempre ha sido primordial económicamente en cada país, debido al fenómeno de la globalización actualmente se ha convertido más relevante, ya que es una cualidad de suma importancia en el desarrollo de los productos que la empresa pueda brindar.

Según Antón citado por Rodríguez (2020), la logística es una parte muy importante en todas las organizaciones independientemente el objeto social, determina y gestiona los flujos internos y externos en una empresa, así mismo implica todas y cada una de las operaciones necesarias para mantener una actividad productiva Servicio postventa, aprovisionamiento de materias primas, planificación, producción, almacenaje, diseño, embalaje, etiquetaje, clasificación, distribución física.

La creciente tendencia hacia el comercio digital, han generado cambios en las empresas dedicadas a la logística, donde la alta competitividad les ha obligado a mejorar sus servicios hacia los consumidores, done consultar o usar la información debe estar disponible lo más pronto posible Hsiao y Chang (2019). Contar con sistemas de información, permite que las empresas tomen decisiones más asertivas y así, aumente la eficiencia en sus procesos Chupin et al. (2019).

El transporte es aquel que permite el traslado de un producto o servicio, que va desde un lugar de origen hasta el lugar o sitio donde es requerido; siendo una actividad fundamental dentro del desarrollo de la empresa y de la humanidad Tutiven (2021)

Transporte es definido por Julio citado por Tutiven (2021) “toda actividad encaminada a trasladar los productos desde un punto de origen hasta un lugar de destino”, siendo el responsable de dar movimiento a los recursos hacia las distintas empresas o clientes distribuidos geográficamente, y agregando valor a los productos, en cuanto a su entrega, calidad, y cantidad solicitada, satisfaciendo al cliente Barrera et al. (2018). El transporte ocupa espacio público (carreteras, vías, puertos y

aeropuertos) y requiere inversiones públicas y privadas, generando una actividad económica extraordinaria García (2020). Como se ha visto, hay varios tipos de transporte el seleccionado dependerá de la ubicación geográfica del tipo de producto o servicio a prestar y el tiempo de entrega. Cuando estas vías no se encuentran en óptimas condiciones se producen perturbaciones que atrasan y encarecen los despachos.

Hay ciertas situaciones que no facilitan las actividades afines al transporte, la mayoría de las empresas modernas que requieren del transporte terrestre al construir sus instalaciones disponen de sitios adecuados para recibir y despachar suministros. Pero esto no es el común de los casos, cuando el cliente está situado en ciudades que no cuentan con vías que permiten la buena circulación, paradas o estacionamientos adecuados, se está en presencia de obstáculos e inclusive, algunas ciudades tienen regulaciones para la circulación del transporte de carga, o tiene un horario para la descarga de mercancía en horario especial.

La seguridad es también muy importante para el transporte, hay vías que, por las características geográficas, también se pueden catalogar como peligrosas porque atraviesan zonas donde hay mucha delincuencia, en algunas vías marítimas hoy en día hay actos de piratería que ponen en zozobra y encarecen al transporte.

El impacto que el transporte tiene en el coste del producto tiene que ver con su volumen y/o con su peso, y es evidente que tiene que ver también con las distancias y con las infraestructuras tanto en origen como en destino, y que éstas van a definir el tiempo de entrega e incluso la entrega a tiempo García (2020). Desde el punto de vista de la distribución física, el transporte es todo un arte, los avances tecnológicos han ayudado mucho y el sistema se ha vuelto más sofisticado, y es necesario contar con vehículos necesarios y adecuados para cada tipo de mercancía a transportar con el fin de entregar un producto a tiempo y en las mejores condiciones. Estrella y Cuichan (2020).

Los costes de transporte son, en la mayoría de las empresas, mayor que los costes de almacenaje. En Europa son el 45% de los costes logísticos llegando al 60% en USA García (2020), las decisiones en el transporte se basan fundamentalmente en la velocidad y el coste, pero también en la densidad del producto y la densidad de valor, la seguridad del producto y de los lugares por donde pasan los productos y otros productos que también se tengan que planificar.

El transporte terrestre requiere infraestructuras (camino o carreteras) sobre las que se mueven los medios (carros, camiones) uniendo centros de producción y centros de consumo, asimismo, los caminos y carreteras conforman una red donde los nodos principales están unidos por vías

principales y desde los nodos principales la conexión a los nodos de menor nivel se realiza mediante vías de menor capacidad. El transporte por carretera está regulado por legislaciones diversas y variantes que limitan velocidades, cargas, tipos de carga, horarios García (2020).

El transporte ferroviario es un tipo de transporte terrestre que exige una inversión en infraestructuras superior pero que permite un desplazamiento de mercancías de menor coste, de hecho, en muchas redes el transporte de mercancías convive con el transporte de personas, y las velocidades promedio de desplazamiento son mucho menores. El modo de mejorar esos tiempos de transporte es generando vías exclusivas para mercancías o coordinando las operaciones de modo adecuado, lo que suele exigir conexiones “punto a punto” muy estudiadas, y siempre dependientes de decisiones políticas.

El transporte aéreo de mercancías es el más costoso, aunque es evidentemente el más rápido. El uso de helicópteros permite llevar el producto más cerca del punto de uso que un avión que exige aeropuertos, el uso de dirigibles puede resurgir por su menor impacto medioambiental, pero lo que parece un hecho es el uso de drones para el reparto de paquetería resolviendo el problema de la última milla, esta opción es una forma de transporte muy interesante para mercancías de alto valor, poco peso y perecederas y es una respuesta ideal para envíos urgentes García (2020).

Cada modo de transporte tiene ventajas e inconvenientes que los hacen más adecuados en función de los clientes, sus demandas, sus plazos requeridos de entrega. Poder utilizar adecuadamente diferentes modos en los diferentes tramos del transporte aporta ventajas considerables, de igual manera la intermodalidad es la combinación de diferentes tipos de transporte, esta exige resolver las transiciones de los productos y de la información.

Al planificar el transporte las empresas se enfrentan a una serie de restricciones, las cuales varían constantemente, desde las físicas más básicas (dimensiones y peso), hasta la peligrosidad del producto, restricciones horarias o la limitación del uso de determinados equipos García (2020). Los medios de transporte (cada tipo de camión, cada barco, cada avión) tienen una capacidad en volumen y en peso diferente. La capacidad en volumen viene limitada por las dimensiones del equipo de transporte utilizado.

Para López, Mendoza y Cuartas citados por Sangay y Silva (2021) en cuanto a El problema del agente viajero o TSP por sus siglas en inglés (Travelling Salesman Problem) ha sido abordado por varias ramas de la ingeniería y por distintas razones, su principal aplicación es la de diseñar rutas desde distintas perspectivas, buscando la mejor ruta posible con criterios de economía en distancia

o en costo, proponiendo alternativas para el mejor uso de los recursos, su origen se atribuye a Flood en 1956 y es quizá el problema de optimización combinatoria más popular de todos en el área de investigación de operaciones Sangay y Silva (2021)

El objetivo es encontrar un recorrido completo que conecte todos los nodos de una red, visitándolos tan solo una vez y volviendo al punto de partida, y que además minimice la distancia total de la ruta. Este tipo de problemas tiene gran aplicación en el ámbito de la logística y distribución, así como en la programación de curvas de producción. Sangay y Silva (2021).

El problema del agente viajero tiene una variación importante, y esta depende de que las distancias entre un nodo y otro sean simétricas o no, es decir, que la distancia entre A y B sea igual a la distancia entre B y A, puesto que en la práctica es muy poco probable que así sea Sangay y Silva (2021)

La cantidad de rutas posibles en una red está determinada por la ecuación: $(n-1)!$ Donde “n” es el número de nodos, a medida que el número de nodos aumente la cantidad de rutas posibles crece factorialmente.

Existen diferentes técnicas usadas para resolver el problema del agente viajero, así como su complejidad computacional y con cada uno de los métodos usados se pueden mostrar las ventajas y desventajas al usarlos.

De esta manera, esta investigación tiene como objetivo general analizar los procesos de diseño y planificación de rutas de transporte para mejorar los tiempos de entrega. La metodología utilizada se basó en un diseño bibliográfico de tipo documental.

Metodología

Esta investigación se realizó basándose en un diseño bibliográfico de tipo documental. El trabajo se fundamenta en la revisión sistemática, rigurosa y profunda de material documental de cualquier clase, donde se efectúa un proceso de abstracción científica, generalizando sobre la base de lo fundamental, partiendo de forma ordenada y con objetivos precisos Palella y Martins (2010), la investigación documental se concreta exclusivamente en la recopilación de información de diversas fuentes, con el objeto de organizarla describirla e interpretarla de acuerdo con ciertos procedimientos que garanticen confiabilidad y objetividad en la presentación de los resultados, para lograr este propósito se utilizaron herramientas como textos, documentos y artículos científicos publicados disponibles en la web Palella y Martins (2010)

Los objetivos de esta investigación se basaron en definir y mostrar la importancia del transporte terrestre en las actividades comerciales, describir el ruteo resolviendo el problema del agente viajero TSP (Travelling Salesman Problem) y sus variantes, describir el problema de ruteo de vehículos VRP (Vehicle Routing Problem) y sus variantes, mostrar y clasificar los diferentes tipos de algoritmos utilizados para resolver el VRP, describir los procesos de diseño y planificación de rutas de transporte para reducir los tiempos de entrega.

Resultados y discusión

Técnicas usadas para resolver el problema del agente viajero

Problema de ruteo (enrutamiento) de vehículos VRP

La planificación manual de rutas ha sido empleada por compañías durante muchos años y, a pesar de la experiencia de los planificadores de rutas, la complejidad siempre cambiante de la red de transporte actual puede afectar la validez financiera de una ruta de un día a otro (Murray, 2018).

Para Gallego, Pantrigo y Duarte citados por Julcapari (2018) mencionan que, el problema de enrutamiento de vehículo (VRP) consiste en obtener agrupaciones de rutas más cortas que se pueda, usando una mínima cantidad de vehículos, iniciando desde un punto de partida (almacén) y volviendo sucesivamente a él, se le suministran una cantidad de clientes que se encuentran distribuidos geográficamente, considerando que cada flota tiene una capacidad máxima propia y la cantidad de producto demandada por los clientes es distinto.

Arboleda et al. Mencionados por Cruz, Mesa, y Franco (2019) especifica que los componentes fundamentales del VRP, son: la red de carreteras, los clientes, los depósitos, los vehículos y los conductores.

Los objetivos que busca este modelo VRP son la obtención de un menor costo asociado a transporte, recorriendo la menor distancia, utilizando un menor tiempo de distribución, entre otras diferentes variables, sujetas a los requerimientos de las organizaciones o los casos objeto estudio Carabali y Zapata (2019)

Los VRP también tienen en cuenta para definir las rutas a los clientes, los vehículos, los depósitos, las restricciones y los objetivos, en donde el cliente cuenta con una demanda establecida que necesita ser satisfecha por la flota de vehículos, la cual parte y debe regresar al depósito.

Para Ascencio et al. (2018), el VRP, busca la solución más óptima; este tipo de problemas de optimización es de tipo combinatoria y por lo regular pertenece a la clase NP-Hard (Non

deterministic Polynomial-Hard), lo que significa que no es posible resolverlos en tiempo polinomial.

Bravo et al. (2021) Mencionan que, el problema de ruteo de vehículos o VRP, según sus siglas en inglés, se puede dividir en dos categorías: homogéneo donde los nodos tienen características en común, es decir que comparten recursos y los modelos heterogéneos se dan en un contexto en que cada nodo tiene recursos diferentes.

En este sentido, Hernández (2018) menciona que, un VRP debe determinar un conjunto de rutas para llevar a cabo todas las solicitudes de transporte (o algunas) dada una flota homogénea de vehículos, a un mínimo costo. Que, para ser considerados como tal, debe incluir una serie de elementos:

- Flota de vehículos
- Clientes y/o proveedores
- Deposito central o centro de distribución
- Red de transporte
- Servicio por atender (demanda o consumo)
- Rutas de solución Hernández (2018)

Algoritmos Usados para resolver VRP

Mancilla, Ebratt y Capacho citados por Julcapari (2018) indicaron que, un algoritmo es un grupo reducido de patrones establecidas correctamente en su lógica de control que permite la solución de un problema en un menor tiempo. En este sentido, el algoritmo para brindar solución al problema ejecuta una lista de pasos con las normas establecidas, que puede ser realizado manualmente.

Entre los diferentes tipos de algoritmo que se usan para resolver el VRP tenemos:

- Los Heurísticos: Según Reeves citado por Bravo et al. (2021) 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.

Mientras que Díaz et al. Citados por Julcapari (2018) afirman que los métodos heurísticos son un conjunto de técnicas que solucionan multitud de problemas prácticos complejos que se visualiza en distintas áreas, por el tipo de problemas que pueden abordar, su mayor desarrollo se ha producido dentro del ámbito de la organización empresarial y en particular en la dirección de operaciones.

- Metaheurísticos: Según Reeves citado por Bravo et al. (2021) la metaheurística se caracteriza por guiar un conjunto de heurísticas y ha sido particularmente útil para resolver complejos problemas de optimización. Este grupo es muy diverso, van 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 entre otros.
- 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. Julián (citado por Bravo et al. (2021)
- Matheuristics: Esta es una solución híbrida con operadores exactos de programación matemática que se mejoran con procesos metaheurísticos. Julián Sastre (citado por Bravo et al. (2021)
- Aproximados: dan una solución suficientemente óptima (no la óptima) en un tiempo de ejecución razonable, logran solventar el problema de los elevados tiempos de ejecución, con estos métodos no se tiene la garantía de obtener la solución óptima, aunque sí una suficientemente buena. En la figura 1 se muestran los diferentes tipos de algoritmos aproximados.

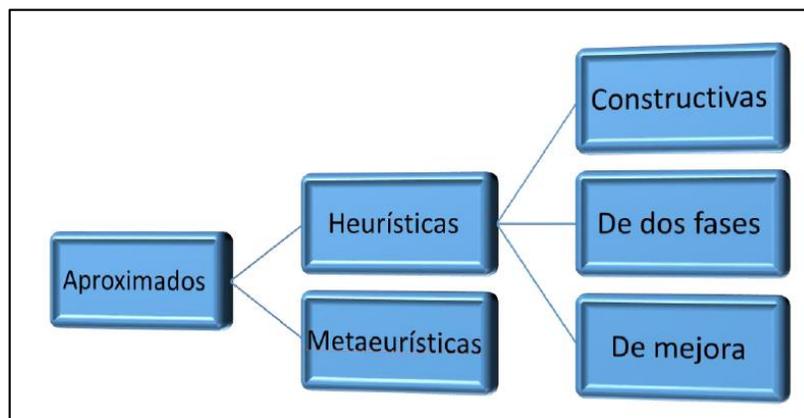


Figura 1 Tipos de algoritmos aproximados. Fuente: Ascencio et al. (2018)

Los algoritmos heurísticos **CONSTRUCTIVOS**, son técnicas iterativas que gradualmente van creando una solución, donde en cada paso se agrega un nuevo elemento que se evalúa y se deshecha cuando no es mejor que otro.

Los algoritmos heurísticos de **DOS FASES** que representan dos procesos: agrupación de vértices en rutas factibles y construcción de la ruta, de tal manera que el problema se resuelve de manera secuencial, un claro ejemplo es el método de Fisher y Jaikuman según Ramalhinho y Serra mencionado por Ascencio et al. (2018)

Los algoritmos heurísticos de **MEJORA**, realizan una serie de intercambios de vértices dentro de una misma ruta o entre distintas rutas para buscar la mejor solución, esta técnica consiste en búsquedas locales que parten de una solución completa y usando el concepto de vecindario recorren y evalúan parte del espacio para encontrar el óptimo local. Un claro ejemplo es, el método Swap para Lum et al. Citados por Ascencio et al. (2018)

Los algoritmos **METAHEURISTICOS**, son la combinación de distintas técnicas heurísticas para realizar la exploración del dominio de búsqueda de una manera más eficiente, se consideran seis tipos de metaheurísticas: recosido simulado, genéticos, redes neuronales, búsqueda tabú, colonia de hormigas y GRASP Ascencio et al. (2018)

En base a lo mencionado anteriormente se puede 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.

La planificación manual de rutas ha sido empleada por compañías durante muchos años y, a pesar de la experiencia de los planificadores de rutas, la complejidad siempre cambiante de la red de transporte actual puede afectar la validez financiera de una ruta de un día a otro (Murray, 2018)

1. **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 Bravo et al. (2021)

Algunas de las restricciones más comunes para este tipo de modelo son:

- 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 Bravo et al. (2021)

Este método consiste en realizar 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 Bravo et al. (2021)
2. **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, Lao y Moreno (2019)

El Algoritmo de ahorros de Clarke y Wright, es una de las técnicas más populares para resolver VRP a través de heurísticas, consiste en el principio de combinar una solución de dos rutas diferentes para formar una nueva ruta donde se validen los ahorros Ascencio et al. (2018)

El modelo de ruteo de Clarke y Wright, la utilizan algunas organizaciones que buscan que sus productos lleguen a la mano del cliente y permita “la reducción en sus costos logísticos siendo estos costos un componente con gran influencia en el costo por producto entregado lo que a su vez significa una mejora de la competitividad” Tutiven (2021)

En el año 1964 Clarke y Wright dieron a conocer su algoritmo, conocido también como el método de los ahorros, que:

Tratándose de la heurística más significativa para llevar a cabo la resolución de problemas de tipo VRP (Problemas de Rutas de Vehículos). Se trata de un depósito central y un número de vehículos no limitado para atender la demanda conocida de un número de n de clientes, siendo el objetivo el de encontrar las rutas que deben realizar dichos vehículos de manera que los costes sean mínimos y se satisfaga la demanda Sara (2017), p. 22 citado por Tutiven (2021)

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

En la Figura 2 se presenta un ejemplo del método del ahorro antes y después de ser unidas:

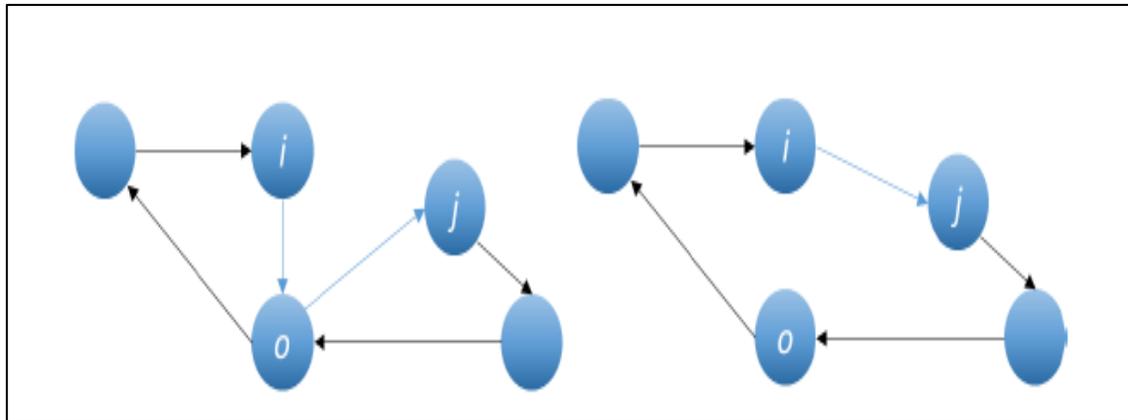


Figura 2 Método del ahorro Fuente: Ascencio et al. (2018)

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.

3. **Método de inserción en paralelo:** El algoritmo propuesto por Christofides, Mingozzi 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. Citados por Bravo et al. (2021)

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.

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.

Para la implementación de cualquiera de los métodos propuestos anteriormente en las diversas empresas u organizaciones se lleva a cabo el desarrollo de tres fases, las cuales tendrán como objetivo cumplir con los siguientes puntos, los cuales fueron tomados Bravo et al. (2021) .

- 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
Bravo et al. (2021)

Diseño y planificación de rutas de transporte

Entre los métodos más utilizados para el diseño, la planificación y mejora de rutas de transporte para mejorar costos y tiempos de entregas tenemos el Problema del Agente Viajero TSP y el Problema Ruteo de Vehículos VRP. El uso de cada uno dependerá de las condiciones o restricciones que estén presentes. Por tanto en el departamento de distribución es necesario elaborar un modelo matemático que permita determinar la distribución óptima y resolverlo Garcia y Merino (2020), este modelo matemático es el primer paso en el diseño y planificación de la ruta planteada. Con la misma información recopilada se diseña e ingresa el modelo matemático para el problema del transporte, donde cada vehículo contaría con restricciones de capacidad en depósitos y vehículos, cada ruta comienza y termina en el mismo depósito, cada cliente debe ser visitado por una ruta exactamente una vez, la suma de las demandas de los clientes visitados en una ruta no debe exceder la capacidad del vehículo y la suma de las demandas de los clientes asignados a un depósito no debe exceder su capacidad. Se tiene entonces, una aplicación importante de la programación lineal, donde la problemática de transporte se puede representar con un modelo matemático Garcia y Merino (2020)

Se desea la distribución de productos, y que lleguen en menor tiempo al cliente, con rutas accesibles sin mucha demora, y con un costo logístico mínimo de transporte.

Como primer paso se debe calcular la distancia que hay entre el almacén o fábrica de productos, a cada uno de los puntos de entrega, además de la distancia que hay entre cada punto de entrega o clientes. Para ello hay muchos métodos como los que usan sistemas de posicionamiento global, entre otros. Un método sencillo y económico es usar la fórmula de la distancia euclidiana y una hoja de cálculo y los datos obtenidos se llaman matriz de distancia.

$$d_E(P_1, P_2) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (1)$$

Donde (x_1, y_1) y (x_2, y_2) son las coordenadas de los puntos geográficos P1 y P2.

La fórmula de distancia euclidiana viene dada de la “geometría, en la que calcula la distancia entre dos puntos del plano, con una raíz que suma los cuadrados de los puntos, con la diferencia entre los ejes” (Ronald, 2018). Se procede a calcular la matriz de

Una vez calculado la matriz de euclidiana, se procede a calcular la matriz del ahorro utilizando la siguiente fórmula denominada Ahorro y el algoritmo de Clarke & Wright:

$$S_{ij}=C_{i0}+C_{0j}-C_{ij} \quad (2)$$

Donde:

$C_{i,0}$ = Distancia desde el nodo i al origen (Origen se designa con 0).

$C_{0,j}$ = Distancia desde el origen al nodo j (Origen se designa con 0).

$C_{i,j}$ = Distancia desde el nodo i al nodo j

$S_{i,j}$ = Ahorro desde el nodo i al nodo j.

La matriz de ahorro nos ayuda a encontrar el valor máximo entre dos nodos, y se lee de fila a columna Tutiven (2021)

Una vez obtenida la matriz, se procede a ordenar los ahorros de manera descendente, para ello se utiliza por ejemplo una fórmula de Excel llamada K ésimo mayor, esta fórmula permite hallar el valor mayor de un conjunto de datos.

Se tendrán una cantidad de iteraciones, se halla el valor mayor de todas las iteraciones A continuación, se determina los pares de nodos, de las iteraciones encontradas, para ello se ordena de manera descendente, Mediante los pares ordenados, se asignan nodos a las rutas, teniendo como referencia las conexiones que existen entre los puntos para minimizar el costo de transporte, la distancia y el tiempo empleado.

Se procede al trazado de las rutas, ahora aquí es donde se utilizan varias maneras de realizar el trazado las rutas.

Trazado de rutas utilizando una aplicación Web

Una vez resuelto el algoritmo del ahorro se necesita la interrelación de varios elementos que permitirá que la elaboración de las rutas pueda obtenerse y mostrarse en una PC, Tablet o Smartphone. Se denomina aplicación web a aquellas aplicaciones que los usuarios pueden utilizar accediendo a un Servidor web a través de Internet o de una intranet mediante un navegador.

Postgre SQL es un poderoso sistema de base de datos relacional de objetos de código abierto, el lenguaje estructurado de consultas (SQL) es un lenguaje de base de datos normalizado, utilizado

por la gran mayoría de los servidores de bases de datos que manejan bases de datos relacionales u objeto-relacionales Ortiz, Ramos y Sullón (2020)

De la misma manera, Sara citado por Ortiz, Ramos y Sullón (2020) mencionan que una base de Datos es:

Una colección de datos estructurados según un modelo que refleja las relaciones y restricciones existentes en el mundo real. Los datos, son compartidos por diferentes usuarios y aplicaciones. Deben mantenerse independientemente en estas. Asimismo, los tratamientos que sufran estos datos tendrán que conservar la integridad y seguridad

En el mismo orden de ideas, API es la sigla de Application Programming Interface o, en español, Interfaz de Programación de Aplicaciones, el cual, es básicamente un conjunto de aplicaciones que permiten la construcción de una interfaz inteligente, configurando un medio por el cual dos sistemas se comunican (Maplink, 2018).

Maps Permite a los usuarios visualizar el mundo real, por medio de mapas estáticos o interactivos, que pueden ser personalizados e incorporados a sitios o aplicaciones Maplink (2018)

Routes ayuda a los usuarios a encontrar el mejor trayecto hasta su destino, con la sugerencia de rutas y actualizaciones de tránsito en tiempo real, también permite crear itinerarios hasta de 25 puntos de referencia, ideal para un planeamiento de rutas de entrega más eficiente Maplink (2018).

Places ayuda a los usuarios a conocer y explorar el mundo a su alrededor. Posibilita encontrar locales específicos, usando números de teléfono, direcciones o nombres de establecimientos (Maplink, 2018)

Las herramientas de diseño web son una asociación de aplicaciones web que facilitan la comunicación, el diseño, el usuario y la colaboración con el WWW (World Wide Web), además permite a los usuarios interactuar y colaborar con la creación de contenidos, tanto los mismos usuarios como la información dada.

Con todos estos elementos y las matrices se obtiene rutas, con la ventaja que estas pueden ser cambiadas según varíen las restricciones en el VRP. La desventaja por así decirlo es el costo para usar las herramientas de Google pues de manera gratuita solo se puede usar un máximo de 25 nodos lo cual representa una representación de empresa pequeña, en problemas reales se tienen muchos más nodos que atender. Este método se engloba en los que utilizan un sistema de información geográfica, donde hay los que no necesariamente se muestran en una aplicación Web entre los cuales se encuentran MapInfo Profesional, OsmAnd, ArcGis entre otros.

Referencias

1. Ascencio, J., Bustos, A. J., Balbuena, J., & Zamora, A. (2018). *Asistente Automático para diseño de rutas de distribución*. Instituto Mexicano de Transporte. Ciudad de Mexico: IMT. Obtenido de <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt538.pdf>
2. Barrera, H., Daza, D., Deluque, Y., Pulido, J., & Acero, W. (2018). Gestión de Transportes y Distribución. *UNAD*, 1-5. Obtenido de Recuperado de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/18412>
3. Batista, R., Lao, Y., & Moreno, M. (agosto de 2019). Una mirada al ruteo de vehículos: métodos, técnicas y análisis bibliométrico. , (3). *Revista de investigación Latinoamericana en Competitividad Organizacional*(3), 6. Obtenido de <https://www.eumed.net/rev/rilco/03/ruteo-vehiculos.html>
4. Bravo, A., Yupanqui, C., Cribillero, C., Ocharan, D., & Patricio, V. (2021). *Gestión de rutas a través del uso de modelos basados en algoritmos*. Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Lima: Carrera de Ingeniería Industrial. Obtenido de https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/13293/Bravo_Gestion-rutas-traves.pdf?sequence=1&isAllowed=y
5. Carabali, H., & Zapata, U. (2019). *Diseño de rutas con VRP solver 3.0: caso de una empresa transportadora de mercancía*. Universidad Santiago de Cali, Programa de Ingeniería Industrial. Santiago de Cali: Facultad de Ingeniería. Obtenido de <https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/116/DISE%c3%91O%20DE%20RUTAS.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
6. Chupin, A., Yurchenko, O., Lemesheva, Z., Pak, A., & Khudzhatov, M. (2019). Development of Logistical Technologies in Management of Intellectual Transport Systems in the Russian Federation. *Economía Digital: Complejidad y Variedad vs. Racionalidad*, 87, 778-787. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-29586-8_89
7. Cruz, E., Mesa, L., & Franco, O. (2019). Diseño de un sistema de rutas variable de transportación basado en sistemas de información geográfica. *Avances*, 21(4), 497-515. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7090084>
8. Estrella R., E. A., & Cuichan T., J. E. (2020). *Diseño de un modelo logístico para la empresa RAPID SERVICE LTDA. del cantón Latacunga (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi: Facultad de Ciencias Administrativas.*

- Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias Administrativas. Latacunga: Trabajo especial de grado. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/5928/1/T-001453.pdf>
9. Garcia, G., & Merino, J. (Mayo de 2020). Diseño de un modelo de optimización para el problema de transporte en una piladora de arroz de la ciudad de Daule. *Revista Científica Aristas*, 2(1), 1-75. Obtenido de https://revistacientificaistjba.edu.ec/images/joomgallery/details/gallery_2/gallery_1_9/Edicion_Mayo_2020_COMPLETO-c.pdf#page=6
 10. García, J. (2020). *Introducción Al transporte de Mercancías. Nota Técnica*. Repositorio Oficial UPV Riunet. Recuperado el 05 de Febrero de 2020, de <https://riunet.upv.es/handle/10251/138752>
 11. Hernández, M. (2018). *Diseño de un modelo matemático para la distribución eficiente de mercancías en edificios comerciales*. Doctoral Dissertation, Universidad Andrés Bello, Santiago de Chile. Obtenido de http://repositorio.unab.cl/xmlui/bitstream/handle/ria/10839/a127911_Hernandez_M_Diseño_de_un_modelo_matematico_2018_Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 12. Hsiao, W., & Chang, T. (2019). *Exploring the opportunity of digital voice assistants in the logistics and transportation industry*. *Journal of Enterprise Information Management* 32(6).
 13. Julcapari, J. (2018). *Sistema web para la gestión de rutas de transporte basado en el algoritmo de Clarke and Wright en ICR PERÚ*. Tesis, Universidad Cesar Vallejo, Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas, Lima, Perú. Recuperado el 05 de febrero de 2022
 14. Maplink. (18 de Julio de 2018). *Apis de google*. Obtenido de <https://maplink.global/es/blog/que-son-google-apis/>
 15. Murray, M. (04 de Septiembre de 2018). *Route Planning for Logistics and Distribution Companies*. Recuperado el 02 de 02 de 2022, de <https://www.thebalancesmb.com/route-planning-2221322>
 16. Ortiz, L., Ramos, M., & Sullón, G. (2020). *Análisis, diseño y elaboración de un prototipo para un sistema de administración y elección de rutas de transporte público*. Tesis, Universidad Nacional de Piura, Facultad de Ingeniería Industrial, Piura. Obtenido de <https://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2292>

17. Palella, S., & Martins, P. (2010). *Metodología de la Investigación Cuantitativa*. (2da ed.). Caracas, Venezuela: FEDEUPEL.
18. Rodríguez. (2020). *Sistema de gestión de información logística basado en servicios web para el transporte de mercancía de la Empresa Transportes Exprecar SAS*. Universidad Autonoma de Bucaramanga, Facultad de Ingenieria. Bucaramanga, Colombia: Grupo de Investigacion en Tecnologias de la Informacion. Obtenido de <https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/15443>
19. Ronald, G. (2018). *Diseño de ruteo vehicular con ventanas de tiempo aplicando el algoritmo Clarke & Wright para una empresa que comercializa insumos y dispositivos médicos*. . Escuela Superior Politécnica del Litoral.
20. Sangay, D., & Silva, K. (2021). *Diseño de ruta de distribución para mejorar los tiempos de entrega de la empresa Avesa Perú EIRL Cajamarca 2021*. Tesis para optar al título Profesional de: Ingeniero Industrial, Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingenieria, Cajamarca. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/27761>
21. Tutiven, S. (2021). *Diseño de un modelo logístico para el diagnóstico de las diversas rutas de transporte del proyecto Ciudad Industrial las Lomas, situada en el cantón Lomas de Sargentillo*. Tesis Doctoral, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingenieria Industrial, Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/56604/1/TUTIVEN%20MORAN%20STEEVEN%20MIGUEL.pdf>