

UCUENCA

Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas

Maestría en Administración y Gestión de Empresas

Optimización de rutas de transporte en la distribución física de materiales de ferretería de la empresa "Comercial Marcelo Mendieta" en la ciudad de Azogues Ecuador a través de una Aplicación Móvil

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magíster en Administración y Gestión de Empresas

Autor:

Gabriel Felipe Mendieta Muñoz

CI: 0301440798

Correo electrónico(personal): felipemendietam@gmail.com

Director:

Diego Mauricio Loyola Ochoa

CI: 0102157237

Cuenca-Ecuador

25-noviembre-2022

Resumen:

El objetivo del presente trabajo de investigación consiste en la optimización de las rutas de transporte mediante una aplicación móvil a la empresa “Comercial Marcelo Mendieta” que se dedica a la entrega de productos de ferretería en la ciudad de Azogues-Ecuador. Actualmente, los circuitos de transporte de la compañía están definidos en función de la experiencia del conductor. Por ello, disponer de un software de ruteo permitiría reducir los costos de operación al completar el itinerario en menor distancia y tiempo. Para alcanzar este objetivo, la metodología parte de un análisis empírico, que incluye la descripción del caso de estudio, el tipo de vehículo y las tres rutas que realiza la empresa (ruta corta, ruta media y ruta larga). A continuación, se realiza el análisis de las rutas mediante la aplicación móvil en función de tres escenarios (real más el software, escenario perfecto, optimizado). El resultado demuestra que el uso de una herramienta informática ayuda a planificar los viajes, lo que a su vez reduce el tiempo y la distancia, facilitando así una gestión eficiente de operación.

Palabras clave: Transporte. Logística. Aplicación móvil. Optimización. Administración. Costos.

Abstract:

The objective of this research work is to optimize transportation routes through a mobile application for the company "Comercial Marcelo Mendieta", which is dedicated to the delivery of hardware products in the city of Azogues, Ecuador. Currently, the company's transportation circuits are defined based on the driver's experience. Therefore, having a routing software would reduce operating costs by completing the itinerary in less distance and time. To achieve this objective, the methodology starts with an empirical analysis, which includes a description of the case study, the type of vehicle and the three routes that the company operates (short route, medium route and long route). Then, the analysis of the routes is performed using the mobile application based on three scenarios (real plus software, perfect scenario, optimized). The result shows that the use of a software tool helps to plan trips, which in turn reduces time and distance, thus facilitating efficient operation management.

Keywords: Transportation. Logistics. Mobile application. Optimization. Management. costs. Cuenca.

Índice

DEDICATORIA	1
ÍNDICE	4
1. Introducción	10
2. Estado del arte.....	11
2.1 Optimización	11
2.2 Viajante de Comercio (TSP).....	13
2.3 Enrutamiento de Vehículos (VRP).....	14
2.4 Análisis Conjunto de TSP y VRP.....	17
3. Metodología y Recolección de Datos	18
3.1 Descripción de la Investigación	18
3.1.1 Población de Estudio	18
3.1.2 Técnicas de Recolección de Datos	19
3.1.3 Instrumentos para procesar datos	19
3.2 Análisis Empírico	19
3.2.1 Caso de Estudio	20
3.2.2 Vehículo Utilizado.....	21
3.2.3 Materiales a ser Distribuidos	21
3.2.4 Sistema de Distribución y Arquitectura del Sistema.....	22
3.2.5 Escenarios de Análisis	25

3.3 Análisis Matemático	26
3.3.1 Optimización Matemática.....	26
3.3.2 Consumo de Combustible.....	29
3.4 Aplicación Móvil	29
4. Resultados	30
4.1 Ruta 1 (ruta corta).....	30
4.2 Ruta 2 (ruta media).....	32
4.3 Ruta 3 (ruta larga).....	34
5. Discusión.....	36
5.1 Ruta 1 (ruta corta).....	36
5.2 Ruta 2 (ruta media).....	37
5.3 Ruta 3 (ruta larga).....	38
5.4 Análisis comparativo mensual	39
6. Conclusión	42
Bibliografía	44

Índice de Figuras

Figura 1. Localización de empresa “Comercial Mendieta”	20
Figura 2. Vehículo utilizado por la empresa	21
Figura 3. Ruta dentro de la ciudad de Azogues Ecuador.....	22
Figura 4. Ruta Dentro de la provincia del Cañar	23
Figura 5. Ruta fuera de la provincia del Cañar	24
Figura 6. Grafica para el modelo Matemático.....	27
Figura 7. Ingreso de datos en la aplicación móvil Circuit	29
Figura 8. Optimización de la Ruta 1.....	30
Figura 9. Optimización de la Ruta 2.....	32
Figura 10. Optimización de la Ruta 3.....	34
Figura 11. Escenarios de la Ruta 1 y kilómetros recorridos por mes.....	40
Figura 12. Escenarios de la Ruta 2 y kilómetros recorridos por mes.....	40
Figura 13. Escenarios de la Ruta 3 y kilómetros recorridos por mes.....	41
Figura 14. Comparación de Rutas y escenarios.....	41

Índice de Tablas

Tabla 1. Cobertura del servicio	19
Tabla 2. Escenarios propuestos.....	25
Tabla 3. Variables, restricciones y nomenclatura	28
Tabla 4. Datos estadísticos de la optimización de la Ruta 1 Escenario Empírico ..	31
Tabla 5. Datos estadísticos de la optimización de la Ruta 1 Real más el software	31
Tabla 6. Datos estadísticos de la optimización de la Ruta 1 Escenario perfecto ...	31
Tabla 7. Datos estadísticos de la optimización de la Ruta 1 optimizado	31
Tabla 8. Datos estadísticos de la Ruta 2 Escenario Empírico	33
Tabla 9. Datos estadísticos de la Ruta 2 Real más el software	33
Tabla 10. Datos estadísticos de la Ruta 2 Escenario perfecto.....	33
Tabla 11. Datos estadísticos de la Ruta 2 Optimizado.....	33
Tabla 12. Datos estadísticos de la Ruta 3 Escenario Empírico	34
Tabla 13. Datos estadísticos de la Ruta 3 Real más el software	35
Tabla 14. Datos estadísticos de la Ruta 3 Escenario perfecto.....	35
Tabla 15. Datos estadísticos de la Ruta 3 optimizada	35
Tabla 16. Análisis comparativo de la Ruta 1	37
Tabla 17. Análisis comparativo de la Ruta 2	38
Tabla 18. Análisis comparativo de la Ruta 3	39
Tabla 19. Resumen mensual de operación por Ruta	40

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Gabriel Felipe Mendieta Muñoz en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Optimización de rutas de transporte en la distribución física de materiales de ferretería de la empresa Comercial Marcelo Mendieta en la ciudad de Azogues Ecuador a través de una Aplicación Móvil”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 25 de noviembre del 2022

Gabriel Felipe Mendieta Muñoz

C.I: 0301440798

Cláusula de Propiedad Intelectual

Gabriel Felipe Mendieta Muñoz, autor/a del trabajo de titulación “Optimización de rutas de transporte en la distribución física de materiales de ferretería de la empresa Comercial Marcelo Mendieta en la ciudad de Azogues Ecuador a través de una Aplicación Móvil”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 25 de noviembre del 2022

Gabriel Felipe Mendieta Muñoz

C.I: 0301440798

DEDICATORIA

A mi familia que con su apoyo y consejo han hecho posible este logro, de manera especial a mi Papá que con su ejemplo y charlas diarias me empujo y guio por el sendero del conocimiento, mi agradecimiento eterno al cielo. Y siempre con la bendición de nuestro Dios creador.

1. Introducción

La distribución física de las mercancías, como un componente de la cadena de suministro, incluye un conjunto de actividades coordinadas que se realizan para conseguir la entrega de un producto desde el lugar de origen hasta el cliente final (Helo & Shamsuzzoha, 2020). Los problemas relacionados con la distribución son: la determinación del nivel de servicio al cliente, la planificación de la ubicación de los centros de distribución, la gestión de inventarios, la selección de los medios de transporte, la composición de la flota, y la programación de las entregas y el enrutamiento de los vehículos (Ren et al., 2017)

El enrutamiento de vehículos es un problema específico de reparto que se plantea de la siguiente manera: un número conocido de clientes en ubicaciones conocidas con una demanda conocida debe ser suministrado con mercancías por un número de vehículos que tienen una capacidad limitada (Li et al., 2018). El problema de transporte de acuerdo a la ruta óptima que un vehículo recorre consta de dos subproblemas: la agrupación de clientes en rutas (clustering) y la definición del recorrido óptimo para cada ruta (cluster). La solución de estos subproblemas permite determinar las rutas de transporte con el menor costo (Wu et al., 2017).

En Ecuador, las empresas dedicadas a la distribución de mercancías planifican los circuitos de transporte en función de la experiencia del conductor. En consecuencia, el vehículo recorre distancias y tiempos de viaje variables, lo que eleva los gastos de operación. A nivel local, las empresas de la ciudad de Azogues están cambiando su logística para hacer frente a los precios récord del combustible y reducir los gastos

referentes a transporte. Por ello la investigación consiste en la optimización de las rutas de transporte logístico mediante una aplicación móvil a la empresa “Comercial Marcelo Mendieta” que se dedicada a la entrega de productos de ferretería.

El trabajo de investigación presenta la siguiente estructura: Sección 2, describe el estado del arte sobre el transporte por carretera y la cadena de suministro. Sección 3, establece la metodología y el proceso de recopilación de datos. Sección 4, detalla los resultados. Sección 5, formula la discusión y limitaciones. Finalmente, la conclusión se presenta en la última sección.

2. Estado del arte

Existe un amplio conjunto de investigaciones sobre el problema de la optimización de las rutas de entrega de productos y su adaptación a la tecnología móvil. Por lo tanto, la primera subsección de la literatura está dedicada a la optimización y a cómo sus diversas versiones han sido adaptadas para su uso en diferentes ámbitos. La siguiente subsección habla sobre el problema del viajante de comercio (TSP). Posteriormente, se incluye una subsección dedicada al enrutamiento de vehículos (VRP), en la que se analiza la optimización de rutas conforme a la utilización del software correspondiente a este estudio. Finalmente se analiza cómo se relaciona el TSP y VRP.

2.1 Optimización

La optimización es un proceso de búsqueda de la solución óptima entre todas las soluciones disponibles de un problema concreto (Guzmán et al., 2020). Considerando la naturaleza de los algoritmos de optimización, éstos se clasifican en dos grupos, algoritmos deterministas y algoritmos inteligentes estocásticos.

En el caso de los algoritmos deterministas, se producen soluciones idénticas si sus valores iniciales de partida son iguales al resolver el problema. Se trata de métodos con gradiente restringido que se mueven rigurosamente hacia la solución óptima. En contradicción con los algoritmos deterministas, los algoritmos estocásticos son generalmente técnicas sin gradiente en las que se deben dar pasos aleatorios para alcanzar el óptimo (Morales et al., 2020).

Los algoritmos estocásticos se clasifican a su vez en dos tipos, algoritmos heurísticos y algoritmos meta-heurísticos. La heurística, como su nombre indica, es el proceso de encontrar las soluciones por el método de ensayo y error. Los algoritmos meta-heurísticos son los algoritmos que resuelven los problemas de optimización de forma estocástica teniendo algún conocimiento previo sobre la búsqueda aleatoria. Se trata de un proceso de optimización que comienza con una solución aleatoria, y luego explora el espacio de búsqueda al azar con una probabilidad específica. Desde las dos últimas décadas, los algoritmos meta-heurísticos inspirados en la naturaleza se han hecho muy populares debido a su potente y eficiente rendimiento a la hora de tratar problemas complejos del mundo real. Estos algoritmos tienen la capacidad de explotar la información útil de la población para encontrar las soluciones óptimas. Estos algoritmos eficientes se utilizan para abordar diversos problemas como la optimización del comercio económico, la localización de nodos, la selección de características neuronales. Varios algoritmos metaheurísticos inspirados en la naturaleza han sido desarrollados: la optimización de enjambre de partículas, el algoritmo genético, el algoritmo de luciérnaga, algoritmo de Búsqueda Gravitacional, Búsqueda de Armonía, Estrategia Evolutiva de Adaptación de la Matriz de Covarianza, Algoritmo de Optimización de la Mariposa(Aldás, 2018).

Las optimizaciones matemáticas son utilizadas en los sistemas de GPS, las empresas de transporte que entregan los paquetes en nuestros hogares, las empresas financieras, los sistemas de reserva de las aerolíneas

2.2 Viajante de Comercio (TSP)

Una optimización de transporte típica es el problema del viajante de comercio (TSP) (Defryn & Sörensen, 2018) . El TSP tiene como objetivo encontrar el recorrido más corto de un subconjunto de nodos dados de tal manera que cada nodo esté a una distancia de cobertura predefinida del recorrido (Kimms & Kozeletskyi, 2016). El problema del viajante de comercio constituye la variante más sencilla de la planificación de rutas para un medio de transporte. El nombre TSP proviene del vendedor ambulante que busca el camino más corto entre destinos (Vanovermeire & Sörensen, 2014).

Debido a su complejidad computacional, el TSP es uno de los problemas más desafiantes de la programación matemática actual (Rave & Álvarez, 2013). Aparte de sus numerosas aplicaciones, la importancia del TSP radica en su capacidad para ser aplicado a otros problemas de enrutamiento. Por ejemplo, la recogida y entrega de diversos tipos de mercancías que son parte de los estudios de la investigación operativa (Oviedo, Zambrano-Vega, Puris, et al., 2018)

Es así que por ejemplo para cada par de ciudades (llamados destinos) que pertenecen a una ruta de transporte logístico su conexión se la realiza mediante arcos y cada arco se le asigna un peso, que es la distancia o el coste del transporte. Una red de enrutamiento tiene tantos nodos como destinos tenga que visitar el vendedor, la red de enrutamiento es la que se conoce como ruta logística. Si el vendedor que es parte de la red

de enrutamiento visita todos los destinos una sola vez, podemos hablar del ciclo completo, que en el mundo logístico se denomina ciclo hamiltoniano. Así, la solución del TSP tiene como objetivo encontrar el ciclo hamiltoniano con un peso total mínimo de los arcos (Nadarajah & Bookbinder, 2013).

Un ejemplo de modelación del TPS generalizado es el reparto de combustible a las estaciones de servicio desde una terminal utilizando una flota de camiones. Este problema generaliza el TSP en el que existen un número de depósitos y un número de vehículos o agentes de viaje. Cada cliente debe ser visitado por un vehículo como mínimo una vez, de acuerdo con el objetivo establecido de crear un número de rutas separadas para cada vehículo. El depósito es el punto de partida y de llegada de cada ruta, y cada ruta puede tener un máximo de clientes. El problema del TSP m-routing se deriva del hecho de que cada cliente está vinculado a una demanda individual, y cada vehículo tiene una capacidad de carga específica (Oviedo, Zambrano, & Puris, 2018).

En 1969 se propuso por primera vez el TSP probabilístico, también conocido como PTSP. Este problema tiene como objetivo encontrar el menor coste esperado posible de los desplazamientos a través de una red de nodos con probabilidades asociadas a la presencia o ausencia de clientes que necesitan ser atendidos y minimizar dicho coste (Navarro et al., 2011).

2.3 Enrutamiento de Vehículos (VRP)

El objetivo del problema clásico de enrutamiento de vehículos (VRP) es encontrar un conjunto de rutas con un coste mínimo (el camino más corto, el volumen minimizado de vehículos, etc.) al principio y al final de la ruta para satisfacer la demanda conocida (Prins,

2004). Cada nodo sólo puede ser visitado una vez por un solo vehículo, y un solo vehículo tiene una capacidad limitada (Goel & Gruhn, 2008; Tarantilis et al., 2004).

Algunos conceptos sobre VRP también presentan restricciones en el tiempo de viaje. El problema clásico de la planificación de rutas ofrece varias opciones, por ejemplo, el problema de enrutamiento de vehículos mixto de recogida y entrega, el problema de enrutamiento periódico de vehículos, el enrutamiento de vehículos con ventanas de tiempo, el enrutamiento de vehículos de inventario (Goel & Gruhn, 2008).

El VRP para camiones puede considerarse un caso especial, en el que la composición de la flota con diferentes capacidades y las rutas de los vehículos se determinan minimizando los costes (Froger et al., 2019). El VRP para camiones en que una flota de vehículos limitada o ilimitada sirve a clientes con demandas conocidas (Sabar et al., 2019).

Esto significa que el VRP puede utilizarse para resolver una amplia gama de problemas relacionados con el transporte, la logística y la distribución, y no sólo los relacionados con la distribución y la recolección (Vesga Ferreira et al., 2016). Por ejemplo, las rutas escolares, los sistemas de recogida de basuras, la limpieza de las calles, la entrega de mercancías y correo y las rutas de los vendedores son ejemplos comunes de este tipo de problemas (Escobar et al., 2014).

El VRP juega un papel significativo en el costo final de un producto ya que un correcto uso del VRP permite reducir entre un 5% y un 20% el costo de transporte de mercancías (Sánchez et al., 2022).

Existe una amplia gama de problemas relacionados con la distribución de la demanda para lo que el análisis de rutas de vehículos ha demostrado ser una solución eficaz, y esto varía de una empresa a otra (Tan & Yeh, 2021). Así, nos encontramos con diversas variantes del VRP como el DVRP (Ruteo Dinámico de vehículos), el VRPTW (Ventana del Ruteo de vehículo), y el VRP en el que un cliente puede ser atendido por diferentes vehículos siempre que se reduzca el coste total (SDVRP). Existen varios métodos para lograr el objetivo de optimizar las variables de transporte de mercancías o servicios, y estos métodos dependen de los requisitos de las empresas que los aplican. Cualquiera que sea el método el objetivo siempre es la correlación entre los costes de transporte y la menor distancia recorrida, el menor tiempo de entrega (Batero Manso et al., 2018).

Los riesgos en los sistemas de logística y de la cadena de suministro, tanto en el ámbito académico como en el industrial, son un tema oportuno e importante en la administración empresarial actual (Yu et al., 2016). En cuanto a la administración, tiene una estrecha relación con la logística. Debido a la escasez de productos inducida por la falta de estudios sobre optimización del transporte, las empresas que manejan cadena de suministro sufren pérdidas financieras, es decir que las interrupciones o la aplicación de solo métodos empíricos de enrutamiento de vehículos traen consigo enormes problemas en la administración empresarial. Para hacer frente a los riesgos de las interrupciones, se han propuesto varias medidas como, por ejemplo, adoptar medidas proactivas agilizando la estructura de los sistemas logísticos y de la cadena de suministro, aplicar la estrategia de "percibir y responder" son esquemas eficaces para manejar las interrupciones en el proceso

de manejo empresarial, el uso de medios tecnológicos como aplicaciones y softwares que permitan determinar la ruta más óptima de transporte (Carter & Rogers, 2008).

2.4 Análisis Conjunto de TSP y VRP

El problema del agente de ventas viajero, también conocido como TSP, fue el primer problema de este tipo que se incluyó en el ámbito de los VRP. El problema recibió este nombre porque se puede conceptualizar en términos de un agente vendedor que debe visitar un número específico de ciudades en el transcurso de un único viaje, mientras que simultáneamente comienza y termina su viaje en la ciudad "de origen". El agente de ventas tiene la tarea de determinar la ruta que debe seguir para visitar cada ciudad una sola vez y regresar de manera que la distancia total recorrida sea mínima (Ruiz-Meza, 2021).

Lo primero que hay que tener en cuenta es que el problema del vendedor viajero generalizado, puede asumirse como un problema de enrutamiento de vehículos (VRP), y aún más, como un CVRP (Capacidad VRP), lo que significa que puede formularse como un problema de enrutamiento de vehículos en el que la capacidad de la flota es un factor restrictivo (Pineda-Zapata et al., 2020). El coste total para abastecer a todos los consumidores se reduce al máximo como parte de la función objetivo del CVRP. En este tipo de problema, la demanda de los clientes está predeterminada, no hay diferenciación entre los vehículos y todos parten de la ubicación del depósito (Gonzalez et al., 2015).

Es preciso recalcar que en la literatura descrita sobre TSP y VRP sobre ruteo de vehículos no existe un estudio que compare un método empírico (basado en la experiencia) de enrutamiento de vehículos con el uso de una aplicación móvil para reducir costos en la logística del transporte y especialmente aplicado a una empresa que distribuya materiales

de ferretería. Por lo tanto, el objetivo de este artículo es desarrollar una optimización para tres rutas de transporte (corta, media, larga) aplicando tres escenarios (real más el software, escenario perfecto, optimizado) hasta encontrar el óptimo y compararlo con el enrutamiento de vehículo realizado de manera empírica por el conductor en la distribución física de materiales de ferretería.

3. Metodología y Recolección de Datos

La metodología se estructura en la descripción de la investigación, seguido del análisis empírico, el análisis matemático, la aplicación móvil y el análisis estadístico. Cada sección tiene sus subsecciones para una comprensión satisfactoria.

3.1 Descripción de la Investigación

La investigación expuesta ha sido cuasiexperimental y aplicada, consistente en el estudio de un caso concreto, por cuanto permite la utilización de la propia experiencia del investigador en beneficio de los intereses de la empresa. Con la realización y verificación de los diferentes escenarios, se ha podido comprender el rendimiento del sector estudiado y la optimización de la cadena de suministro, para lo cual se ha utilizado el método lógico-deductivo.

Con el fin de respaldar la investigación, se han consultado las referencias: las fuentes primarias, mediante la recolección de la información facilitada por la empresa. Las fuentes secundarias, mediante material bibliográfico.

El enfoque de la investigación es cuantitativo, con este método se recogió aquella forma de información en la que, por medio de un diagnóstico, se dieron las directrices para

determinar los aspectos más destacados en la provisión de los servicios que prestan el servicio de carga pesada en la distribución de materiales de ferretería.

3.1.1 Población de Estudio

La población o universo de estudio está constituida por los conductores de transporte del servicio de carga pesada pertenecientes a la empresa.

3.1.2 Técnicas de Recolección de Datos

Fue necesario el empleo de la técnica de entrevista mediante ficha para conocer el registro del conductor del lugar de origen y sus diferentes destinos. La entrevista es de acuerdo a la ficha de la siguiente Tabla 1.

Tabla 1

Cobertura del servicio

Origen -----	Destino 1 -----	Destino 2 -----	Destino n... -----
------------------------	---------------------------	---------------------------	------------------------------

3.1.3 Instrumentos para procesar datos

Al finalizar el trabajo en el territorio, y una vez recopilada la información a partir de los distintos instrumentos y de la técnica de recogida de datos, se ordena, selecciona y filtra la información, para continuar con la tabulación correspondiente.

3.2 Análisis Empírico

El análisis empírico consiste en la descripción basado en la experiencia del recorrido de la ruta logística que realiza el vehículo de la empresa. Es decir, el punto de origen y destinos, costo del combustible y tipo de vehículo.

3.2.1 Caso de Estudio

El caso de estudio se trata de la empresa que distribuye materiales de ferretería “Comercial Marcelo Mendieta” dedicada a venta al por mayor de artículos de ferretería. Inició sus actividades comerciales el primero de enero de 1992. Esta empresa se encuentra ubicada en la capital provincial del Cañar, la ciudad de Azogues específicamente en la siguiente dirección 7523+2MX, Azogues, Ecuador (ver Figura 1). En este caso logístico llega a ser considerado nuestro punto de origen.

Figura 1.

Localización de empresa “Comercial Mendieta”



Fuente: Autor.

3.2.2 Vehículo Utilizado

Vehículo Hino FB: Capacidad (Kg) 7500 Kg. Capacidad de carga 150 q (ver Figura 2).

Figura 2

Vehículo utilizado por la empresa



Fuente: Autor.

3.2.3 Materiales a ser Distribuidos

Los productos a ser repartidos en la cadena logística de materiales de ferretería son: Abrasivos, herramientas eléctricas, adhesivos, gel, rollos de papel, taladros, lijadoras, sierras, compresores de aire, esmeriladoras. Herramientas manuales incluye destornilladores, dados, engrapadoras, llaves, cuchillas, martillos, entre otros. Puedes surtirte de herramientas individuales y de kits para distintos propósitos.

Material eléctrico, tomacorrientes, interruptores, breakers y cables eléctricos. Su uso es tanto industrial como residencial, bombillos incandescentes, bombillos ahorradores de luz y tecnología LED. Tuberías PVC, pinturas, brochas, materiales de construcción, tejas, cemento.

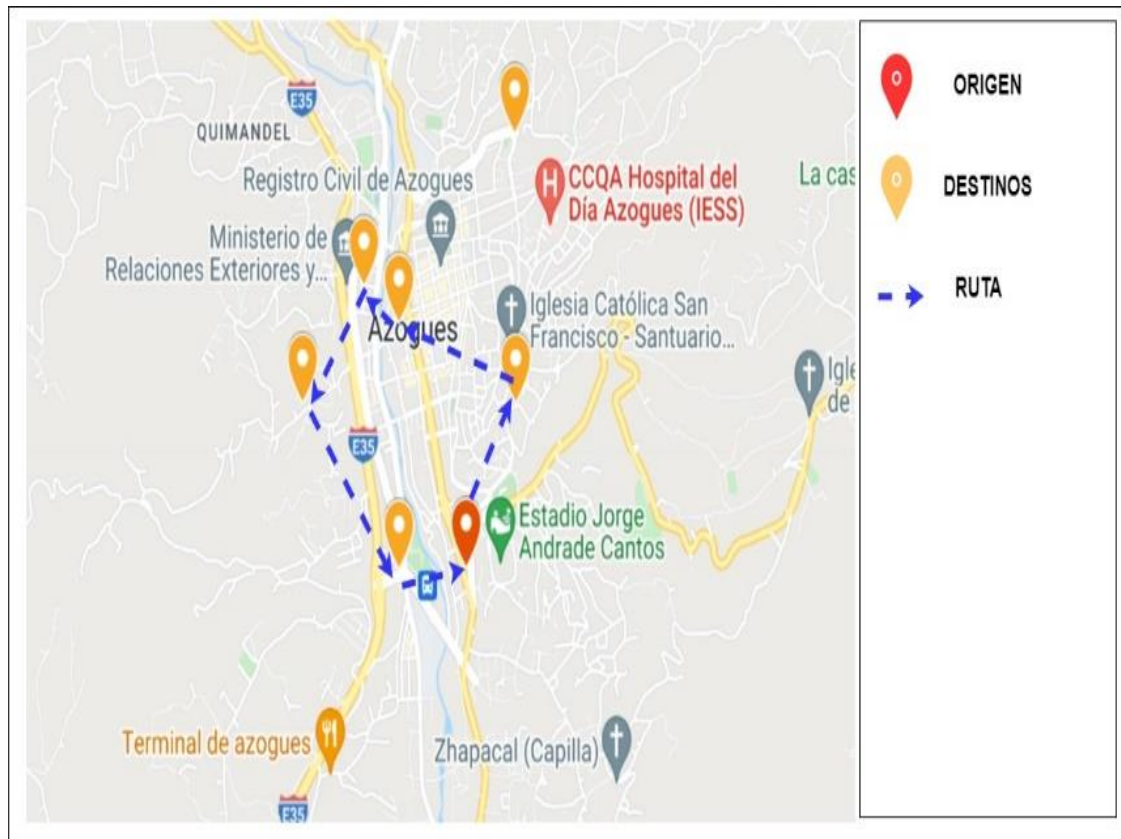
3.2.4 Sistema de Distribución y Arquitectura del Sistema

Para determinar la optimización en la distribución de materiales de ferretería se estudia tres tipos de rutas que realiza la empresa: dentro de la ciudad de Azogues o llamada ruta corta (ver Figura 3), dentro de la provincia del Cañar o llamada ruta media (ver Figura 4) y fuera de la provincia del Cañar o llamada ruta larga (ver Figura 5). Para un mejor entendimiento del estudio se identifica como ruta corta, ruta media y ruta larga. El análisis permitirá conocer como el software optimiza en diferentes tipos de ruta.

- **Dentro de la Ciudad de Azogues**

Figura 3

Ruta dentro de la ciudad de Azogues Ecuador



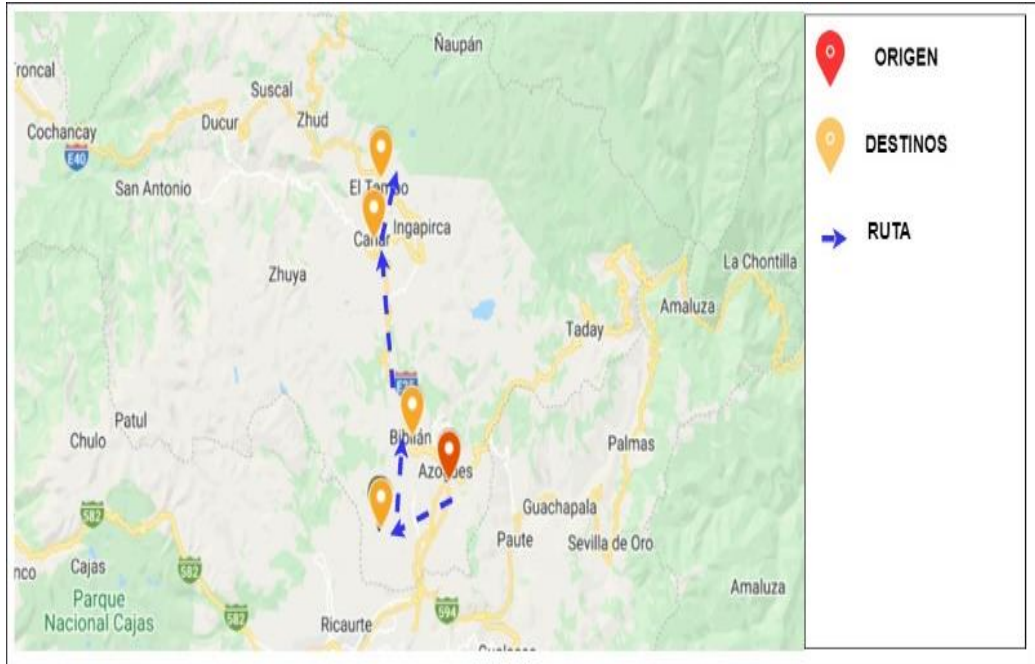
Fuente: Autor.

La ruta corta, también conocida como la ruta dentro de Azogues, tiene cinco paradas y se realiza tres veces por semana (ver Figura 3).

- **Dentro de la provincia del Cañar**

Figura 4

Ruta Dentro de la provincia del Cañar



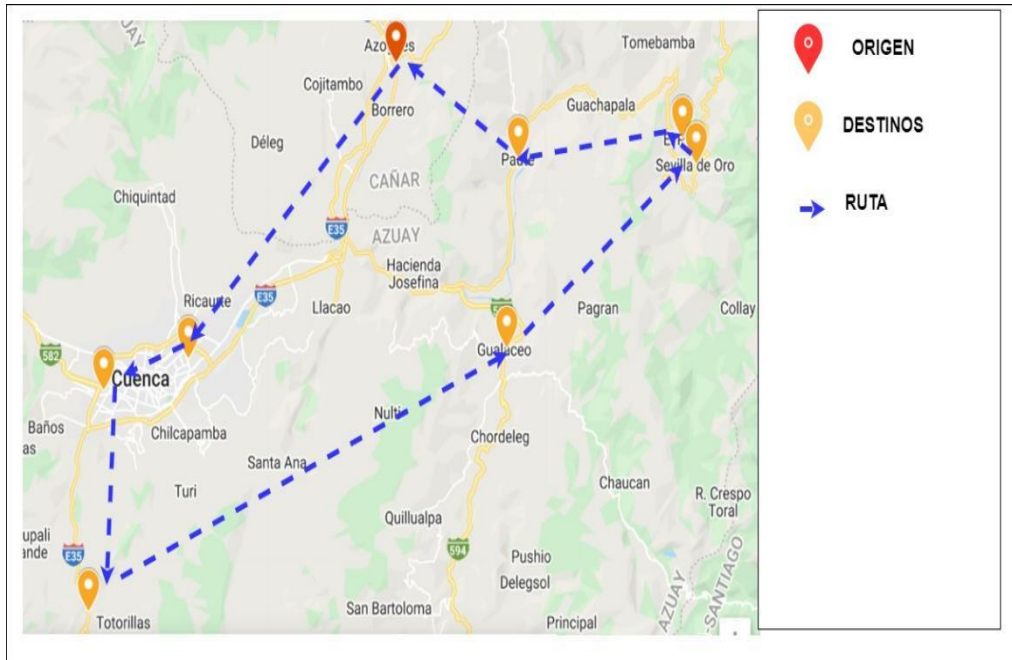
Fuente: Autor.

La ruta conocida como media es la que se realiza dentro de la provincia del Cañar y su itinerario consiste de destinos como los cantones Biblián, Déleg, Cañar y el Tambo (ver Figura 4).

- **Fuera de la provincia del Cañar**

Figura 5

Ruta fuera de la provincia del Cañar



Fuente: Autor.

La Figura 5 muestra la ruta larga y conocida como ruta fuera de la provincia del Cañar y su itinerario presenta destinos fuera de los límites provinciales de la provincia del Cañar.

3.2.5 Escenarios de Análisis.

Cada una de las tres rutas propuestas se compone de tres escenarios diferentes que se optimizan (real más el software, escenario perfecto, optimizado). Además, el escenario empírico servirá como el escenario fundamentado en la experiencia del conductor (empírico) (ver Tabla 2).

- El escenario empírico se refiere a la obtención de información sobre el terreno mediante fichas completadas por el conductor.

- El escenario real más software: en el cual se aplica el software Circuit en los resultados del escenario empírico.
- El escenario perfecto: utiliza el software Circuit y un tiempo de parada de 30 minutos para cada destino.
- El escenario optimizado: se refiere a optimizar reduciendo el tiempo total de viaje para minimizar el costo de transporte (ver Tabla 2).

Tabla 2

Escenarios propuestos

	Escenario Empírico	Escenario Real más software	Escenario perfecto (30 min)	Escenario Optimizado
Ruta 1	-----	-----	-----	-----
Ruta 2	-----	-----	-----	-----
Ruta 3	-----	-----	-----	-----

3.3 Análisis Matemático

El análisis matemático se encuentra dividido en dos subsecciones. La primera es la optimización matemática que se encuentra ejecutada en el software móvil Circuit. La segunda subsección corresponde al cálculo del consumo del combustible.

3.3.1 Optimización Matemática

Las restricciones 2 y 3 plantean que exactamente un arco o ruta asociado con un cliente, las restricciones 4 y 5 dice que el número de los vehículos que dejan el origen es igual al número que llega al destino, la restricción 6 es la restricción de corte de la capacidad, la cual imponen que las rutas tienen que ser conectadas y finalmente la restricción 7 define el dominio de las constantes.

El análisis matemático que se va utilizar es el:

$$\min \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Sujeto a

$$\sum_{i \in V} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \setminus \{0\} \quad (2)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (3)$$

$$\sum_{i \in V} x_{i0} = K \quad (4)$$

$$\sum_{j \in V} x_{0j} = K \quad (5)$$

$$\sum_{i \notin S} \sum_{j \in S} x_{ij} \geq r(S), \quad \forall S \subseteq V \setminus \{0\}, S \neq \emptyset \quad (6)$$

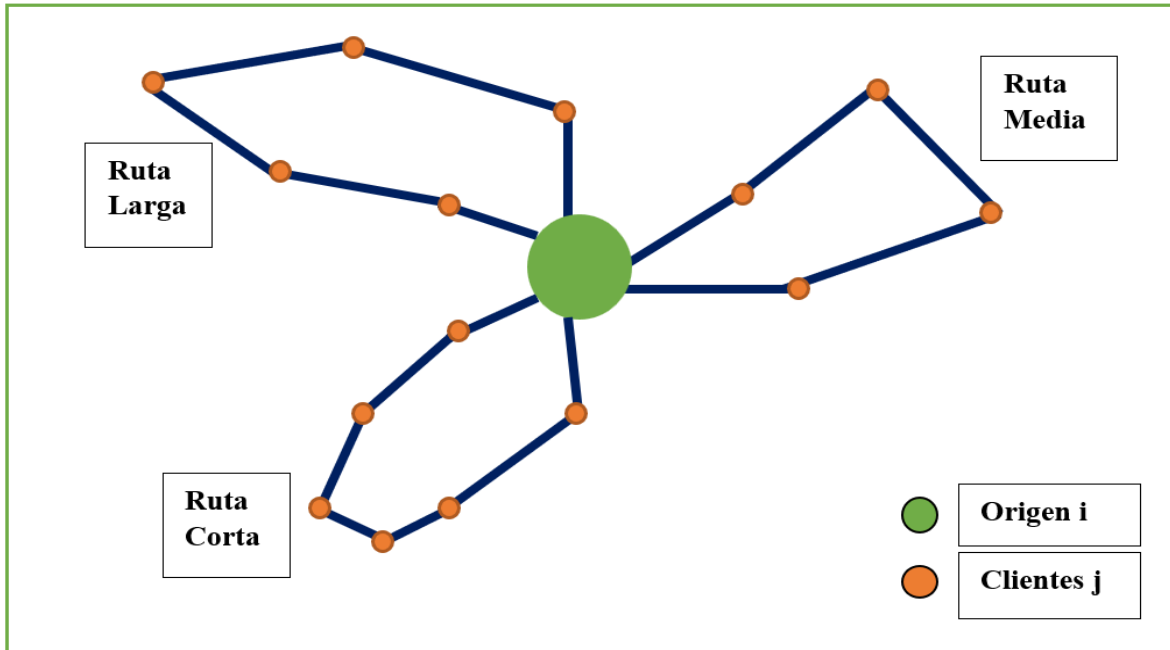
$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in V \quad (7)$$

El modelo de variables

El modelo matemático se formula estableciendo las variables de decisión o control, cuyos valores finales solucionarán el problema, se determina una función objetivo, expresada en términos de los datos y de las variables de decisión y fijando límites o restricciones de los valores de las variables debido a las condiciones externas del problema (ver Figura 6).

Figura 6

Grafica para el modelo Matemático



Fuente: Autor.

La construcción de la formulación matemática es de acuerdo a la Figura 6. El origen (i) que es el depósito de ferretería Mendieta realiza tres rutas de transporte (ruta larga, ruta media, ruta corta). Existe un conjunto de n clientes (nodos), $V = \{1, 2, 3, \dots, n\}$, y un conjunto de caminos (arcos) uniendo cada una de las tiendas, así el camino (i,j) . Por lo tanto, c_{ij} es la “distancia” (función objetivo) para ir del origen o centro de distribución (i) al cliente (j) (c_{ij} no necesariamente es igual a c_{ji}). Un vehículo debe realizar un recorrido comenzando en el origen es decir la ubicación del comercial y luego visitar todos los otros clientes una única vez y retornar al centro de distribución. El problema consiste en hallar el recorrido de distancia mínima. Para ello es necesario establecer las restricciones de acuerdo a la siguiente Tabla 3

Tabla 3

Variables, restricciones y nomenclatura

Símbolo	Significado
i	Centro de distribución
j	Clientes
cij	Costo de viajar entre el nodo i y el nodo j.
x_{ij}	Variable binaria que se activa cuando el arco entre los nodos i y j se recorre por un vehículo de la flota. Tiene el valor de 1 ya que siempre debe ser visitada
$\sum_{i \in V} x_{ij} = 1$	Permite visitar una única vez a cada cliente
$\sum_{j \in V} x_{ij} = 1$	Permite que todos los clientes sean visitados
$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ij} \geq r(S)$,	Indica que no existan sub-rutas para cada recorrido S, en la visita de un vehículo sobre los diferentes clientes, sin permitir ciclos infinitos entre ellos
$x_{ij} \in \{0, 1\}$	La restricción muestra como la variable debe ser entera.
$\sum_{j \in V} x_{0j} = K$	Vehículo a utilizar (K). Si es igual a 1, el vehículo k es asignado para recorrer el arco y regresar al depósito.
$\sum_{i \in V} x_{i0} = K$	Vehículo a utilizar (K). Si es igual a 1, el vehículo k es asignado para recorrer el arco desde el nodo i al nodo j.

3.3.2 Consumo de Combustible

El consumo de combustible es igual al Km actual dividido para cantidad de galones tanqueados.

$$\text{Rendimiento de Combustible} = \frac{\text{km Actual} - \text{km Anterior}}{\text{Cantidad de galones tanqueados}} \quad (8)$$

Además, al ralentí un motor consume en una hora, alrededor de entre 1.5 y 2 litros de Diésel.

3.4 Aplicación Móvil

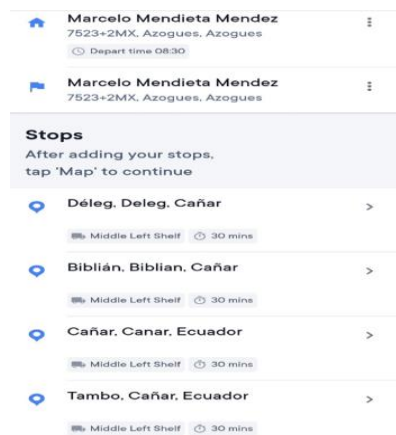
Para el tema logístico se utiliza una aplicación móvil gratuita llamada Circuit que utiliza tecnología avanzada que combina el estado actual de tráfico con los datos cartográficos más actualizados para planificar y optimizar la ruta de reparto más corta y rápida posible. El administrador del local comercial es el que maneja la aplicación y enviando la ruta al conductor, así puede realizar un seguimiento en tiempo real de la ruta.

El software de optimización de rutas planifica la secuencia de paradas que sigue un conductor de reparto para mejorar la eficiencia del conductor y el servicio al cliente. El software crea rutas más eficientes para toda una flota en función de las limitaciones y los objetivos de la empresa.

Para emplear el software Circuit, hay que configurar el origen y el destino, así como las paradas o destinos de la ruta, y el tiempo en cada parada. El horario de funcionamiento de la empresa de ferretería es de 8:00 a 18:00 horas, por lo que el reparto de la carga comienza con el horario de trabajo del camión el cual es a las 8:30 horas (ver Figura 7).

Figura 7.

Ingreso de datos en la aplicación móvil Circuit



Fuente: Autor.

4. Resultados

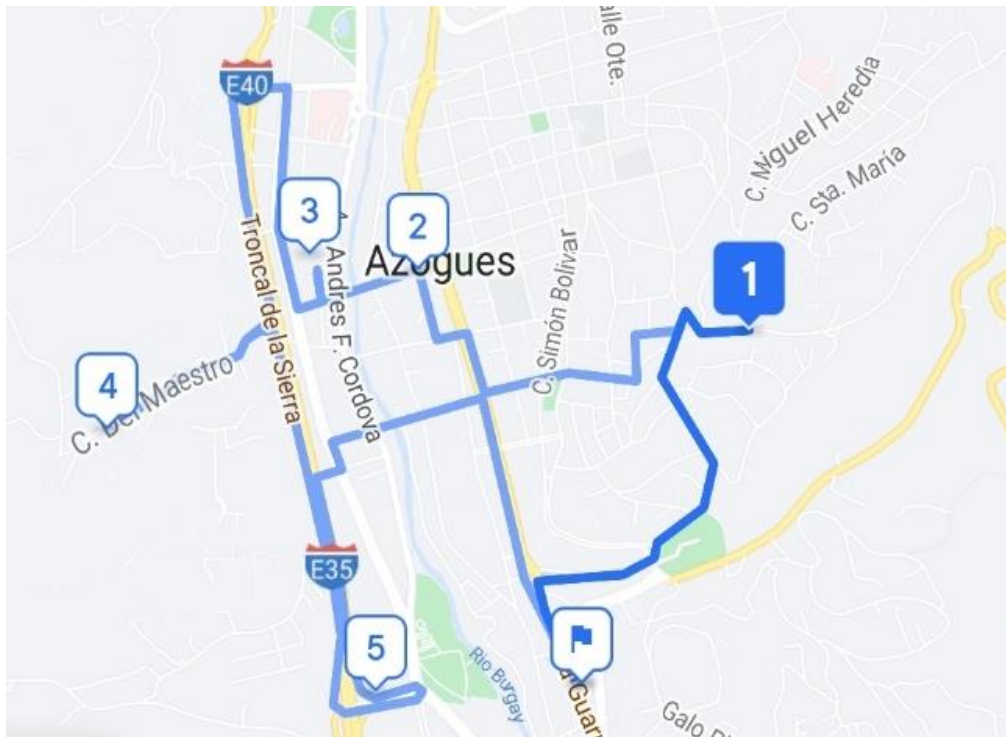
Utilizando el software Circuit, los resultados de cada ruta (corta, media y larga) se muestran en subsecciones. Cada subsección en función de la ruta muestra cuatro tablas, una para cada uno de los tres escenarios predeterminados, más el escenario empírico. Las comparaciones de las rutas y los escenarios se analizan en la sección de discusión.

4.1 Ruta 1 (ruta corta)

La Figura 8 representa gráficamente la optimización de la Ruta en relación con los cinco destinos. En la formulación matemática (sección 3.3.1) el punto 1 es el subíndice (i) localización de la empresa y los puntos 2 al 5 son los (j) o destinos de los productos de ferretería. La ruta de color azul son los arcos.

Figura 8

Optimización de la Ruta 1



Fuente: Autor.

Tabla 4

Datos estadísticos de la optimización de la Ruta 1 Escenario Empírico

No Parada	Dirección	Hora de llegada	Tiempo de parada
1	Avenida 16 de Abril	8:40	40 minutos
2	Taller X	9:40	30 minutos
3	Ferretería X	10:01	22 minutos
4	4 de Noviembre	10:29	27 minutos
5	Calle camilo Ponce	11:11	32 minutos
6	Marcelo Mendieta	12:20	
3 horas 40 minutos y 19 km			

Tabla 5

Datos estadísticos de la optimización de la Ruta 1 Real más el software

No Parada	Dirección	Hora de llegada	Tiempo de parada
1	4 de Noviembre	8:33	40 minutos
2	Calle camilo Ponce	9:17	30 minutos
3	Ferretería X	9:43	22 minutos
4	Taller X	10:20	27 minutos
5	Avenida 16 de Abril	10:50	32 minutos
6	Marcelo Mendieta	11:25	
3 horas 2 minutos y 8 km			

Tabla 6

Datos estadísticos de la optimización de la Ruta 1 Escenario perfecto

No Parada	Dirección	Hora de llegada	Tiempo de parada
1	4 de Noviembre	8:33	30 minutos
2	Calle camilo Ponce	9:07	30 minutos
3	Ferretería X	9:38	30 minutos
4	Taller X	10:13	30 minutos
5	Avenida 16 de Abril	10:46	30 minutos
6	Marcelo Mendieta	11:20	
2 horas 50 minutos y 8 km			

Tabla 7

Datos estadísticos de la optimización de la Ruta 1 optimizado

No Parada	Dirección	Hora de llegada	Tiempo de parada
1	4 de Noviembre	8:33	optimizado
2	Calle camilo Ponce	9:07	optimizado
3	Ferretería X	9:38	optimizado
4	Taller X	10:13	optimizado
5	Avenida 16 de Abril		
6	Marcelo Mendieta	10:52	optimizado
2 horas 25 minutos y 6 km			

Las Tablas (4-7) indican los distintos escenarios que se proponen tres escenarios (real más el software, escenario perfecto, optimizado). La Tabla 4 corresponde a la efectuada por el conductor de acuerdo con su experiencia (empírico), mientras que las Tablas 5-7 son los recorridos optimizados.

4.2 Ruta 2 (ruta media)

La Figura 9 permite ver gráficamente la optimización de la Ruta en función de los cuatro destinos. En la formulación matemática el punto 1 es el subíndice (i) que es la ubicación de la empresa y los puntos 2 a 4 son los (j) o destinos de los productos. La ruta en color azul son los arcos.

Figura 9

Optimización de la Ruta 2



Fuente: Autor.

Tabla 8

Datos estadísticos de la Ruta 2 Escenario Empírico

No Parada	Dirección	Hora de llegada	Tiempo de parada
1	Déleg	8:54	27 minutos
2	Biblián	9:56	31 minutos
3	Cañar	10:59	40 minutos
4	Tambo	11:48	30 minutos
5	Marcelo Mendieta	12:58	
Total 4 horas 1 minuto y 145 km			

Tabla 9

Datos estadísticos de la Ruta 2 Real más el software

No Parada	Dirección	Hora de llegada	Tiempo de parada
1	Déleg	8:54	27 minutos
2	Biblián	9:40	31 minutos
3	Cañar	10:34	40 minutos
4	Tambo	11:26	30 minutos
5	Marcelo Mendieta	12:39	
Total 3 horas 45 minutos y 123 km			

Tabla 10

Datos estadísticos de la Ruta 2 Escenario perfecto

No Parada	Dirección	Hora de llegada	Tiempo de parada
1	Déleg	8:54	30 minutos
2	Biblián	9:43	30 minutos
3	Cañar	10:36	30 minutos
4	Tambo	11:18	30 minutos
5	Marcelo Mendieta	12:31	
Total 4 horas y 123 km			

Tabla 11

Datos estadísticos de la Ruta 2 Optimizado

No Parada	Dirección	Hora de llegada	Tiempo de parada
1	Déleg	8:39	optimizada
2	Biblián	8:39	optimizada
3	Cañar	9:33	optimizada
4	Tambo	10:25	optimizada
5	Marcelo Mendieta	11:39	optimizada
Total 3 horas y 111 km			

Las Tablas (8-11) señalan los 3 escenarios propuestos (real más software, escenario perfecto, escenario optimizado). La Tabla 8 corresponde a la efectuada por el conductor

según su propia experiencia (empírica), mientras que las Tablas 9-11 son las efectuadas de forma optimizada (utilizando el software).

4.3 Ruta 3 (ruta larga)

La Figura 10 ilustra gráficamente la optimización de la Ruta en el sentido de los siete destinos. En la formulación matemática el punto 1 es el subíndice (i) y los puntos 2 a 7 son los (j) o destinos de los productos. La ruta azul son los arcos.

Figura 10

Optimización de la Ruta 3



Fuente: Autor.

Tabla 12

Datos estadísticos de la Ruta 3 Escenario Empírico

No Parada	Dirección	Hora de llegada	Tiempo de parada
1	Totoracocha	8:55	20 minutos
2	Cuenca	9:37	21 minutos
3	Tarqui	10:40	27 minutos
4	Gualaceo	11:55	30 minutos
5	Paute	12:56	29 minutos
6	El Pan	13:51	30 minutos
7	Sevilla de Oro	14:34	20 minutos
8	Marcelo Mendieta	15:20	
Total 6 horas 29 minutos y 221 km			

Tabla 13

Datos estadísticos de la Ruta 3 Real más el software

No Parada	Dirección	Hora de llegada	Tiempo de parada
1	Totoracocha	8:55	20 minutos
2	Cuenca	9:26	21 minutos
3	Tarqui	10:09	27 minutos
4	Gualaceo	11:22	30 minutos
5	Paute	12:07	29 minutos
6	El Pan	12:57	30 minutos
7	Sevilla de Oro	13:25	20 minutos
8	Marcelo Mendieta	14:41	20 minutos
Total 5 horas 46 minutos y 199 km			

Tabla 14

Datos estadísticos de la Ruta 3 Escenario perfecto

No Parada	Dirección	Hora de llegada	Tiempo de parada
1	Totoracocha	8:55	30 minutos
2	Cuenca	9:36	30 minutos
3	Tarqui	10:28	30 minutos
4	Gualaceo	11:44	30 minutos
5	Paute	12:31	30 minutos
6	El Pan	13:19	30 minutos
7	Sevilla de Oro	13:57	30 minutos
8	Marcelo Mendieta	15:14	
Total 6 horas 44 minutos y 199 km			

Tabla 15

Datos estadísticos de la Ruta 3 optimizada

No Parada	Dirección	Hora de llegada	Tiempo de parada
1	Totoracocha	8:55	optimizado
2	Cuenca	9:26	optimizado
3	Tarqui	10:09	optimizado
4	Gualaceo	11:22	optimizado
5	Paute	12:07	optimizado
6	Sevilla de Oro	13:58	optimizado
7	El Pan	13:25	optimizado
8	Marcelo Mendieta	14:41	optimizado
Total 5 horas 49 minutos y 187 km			

Las Tablas (12-15) señalan los 3 escenarios propuestos (real más software, escenario perfecto, escenario optimizado). La Tabla 12 corresponde a la efectuada por el conductor según su propia experiencia (empírica), mientras que las Tablas 13-15 son las efectuadas de forma optimizada (utilizando el software).

5. Discusión

En esta sección de la investigación, se realizará una comparación entre los distintos escenarios para cada una de las rutas (corta, media, larga). Además de un análisis comparativo mensual

5.1 Ruta 1 (ruta corta)

En la ruta 1, la cual es la ruta corta, se ha comparado el análisis empírico con la aplicación móvil en términos de distancia, con lo que el software Circuit minimiza la distancia recorrida, lo que ya conlleva una optimización respecto a la distancia. En términos de tiempo de recorrido el Circuit minimiza debido a que el Circuit maneja información real de tráfico. A través de la reducción del tiempo y la distancia mediante la optimización de la ruta logística a través del software Circuit, se reduce el consumo de combustible y, por tanto, los costes de operación.

Con respecto a la ruta logística cuando está dentro de la ciudad de Azogues, los puntos de destino varían con respecto a lo que se levantó en la ficha técnica, ya que en distancias cortas el conductor aplica su experiencia y se dirige al destino que considera más conveniente sin tener en cuenta parámetros como la distancia, el tiempo y el tráfico. Así, el software Circuit ofrece una información más precisa en términos técnicos y de optimización (ver Tabla 16).

La Tabla 4 muestra el análisis empírico de la Ruta 1, que se recogió mediante la ficha técnica aplicada al conductor, donde se puede observar que el tiempo de viaje es considerablemente superior y el tiempo de parada es diverso. Aplicando lo estipulado en la Tabla 4 mediante el software Circuit obtenemos la Tabla 5 indica una reorganización de los diferentes destinos y una reducción del tiempo total de viaje.

La Tabla 6 es un escenario perfecto el cual incluye el tiempo de parada de 30 minutos que comparada con la Tabla 5 reduce el tiempo de viaje, pero mantiene el orden de destinos. La Tabla 7 muestra una ruta optimizada reduciendo el tiempo menor de parada que es de 25 minutos. El resultado es que para optimizar y tener un tiempo de llegada de 10:52 se debería eliminar una parada en este caso la parada 5.

Todos estos análisis y comparación entre escenarios de la Ruta 1 se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16

Análisis comparativo de la Ruta 1

	Escenario Empírico	Escenario Real más software	Escenario perfecto (30 min)	Escenario Optimizado
Distancia	19 km	8 km	8 km	7 km
Tiempo	3 horas 40 minutos	3 horas 2 minutos	2 horas 50 min	2 horas 25 minutos
Consumo	10 dólares	3.15 dólares	3.13 dólares	3 dólares

En todos los escenarios el uso del software Circuit optimiza en comparación con el escenario empírico.

5.2 Ruta 2 (ruta media)

La Ruta 2, en términos de logística, es la ruta de distancia media, ya que el resultado de este estudio respecto a la distancia del viaje en sí no se reduce de forma significativa al utilizar el software Circuit, como sí ocurrió en la Ruta 1. Sin embargo, si optimiza la ruta reduciendo el tiempo y distancia y por ello el consumo de combustible (ver Tabla 17).

La Ruta Logística mantiene en su mayoría el orden de destinos entre lo empírico y la utilización del software Circuit. Lo que conlleva a una diferencia en cuanto al ordenamiento de destinos comparado con la Ruta 1.

La Tabla 8 muestra la ruta empírica de la Ruta 2 levantada mediante una ficha de información y comparamos con la Tabla 9 la cual se utilizó el software Circuit. El resultado muestra que en la Ruta 2 se mantiene el orden de paradas y se optimiza el tiempo de viaje. La Tabla 10 que es el escenario perfecto no reduce el tiempo de viaje al contrario lo incrementa, pero mantiene el orden de destinos. Esto se debe a que cada parada es de 30 minutos. La Tabla 10 que es optimizar reduciendo el tiempo de llegada al destino final muestra que para cumplir con este objetivo se debía eliminar el destino Déleg.

La Tabla 17 presenta un estudio comparativo entre los diferentes escenarios propuestos.

Tabla 17

Análisis comparativo de la Ruta 2

	Escenario Empírico	Escenario Real más software	Escenario perfecto (30 min)	Escenario Optimizado
Distancia	145 km	123 km	123 km	111 km
Tiempo	4 horas 1 minuto	3 horas 45 minutos	4 horas	3 horas
Consumo	20 dólares	11.78 dólares	11.65 dólares	8.70 dólares

5.3 Ruta 3 (ruta larga)

La Ruta 3 la cual en términos de logística es conocida como la ruta de distancia larga. Los resultados de este análisis muestran que no existe una diferencia considerable entre el escenario empírico y el utilizado por el software Circuit. El resultado muestra una reducción en el consumo de combustible, pero no de una manera significativa como en las anteriores Rutas 1 y 2. Además, el orden de los destinos no cambia en ningún escenario (ver Tabla 18).

La Tabla 12 que corresponde a la Ruta 3 muestra el levantamiento mediante ficha de información y al comparar con la Tabla 13 la cual se utilizó el software Circuit. El resultado es que el orden de los destinos se mantiene sin embargo el tiempo de viaje es

optimizado. La Tabla 14 muestra el escenario perfecto el cual mantiene 30 minutos de parada por cada destino. El resultado muestra que se mantiene los destinos. La Tabla 14 muestra el resultado más interesante en el análisis llevado a cabo ya que a diferencia de la Ruta 1 y Ruta 2 la optimización se puede realizar reduciendo el tiempo de viaje sin necesidad de eliminar ningún destino, sin embargo, se debe realizar un cambio de orden entre destinos (el 6 por el 7). Este resultado es interesante ya que permite que las optimizaciones en rutas largas cuenten con un mejor seguimiento de la optimización por parte del gestor de la empresa (ver Tabla 18).

Tabla 18

Análisis comparativo de la Ruta 3

	Escenario Empírico	Escenario Real más software	Escenario perfecto (30 min)	Escenario Optimizado
Distancia	221 km	199 km	199 km	187 km
Tiempo	6 horas 29 minuto	5 horas 46 minutos	6 horas 44 minutos	5 horas 49 minutos
Consumo	25 dólares	18.89 dólares	19.11 dólares	14.66 dólares

Un análisis general es que en distancia de ruta corta la optimización es más evidente en términos de tiempo, distancia y costo que en distancia de ruta larga. La aplicación móvil permite optimizar de manera rápida ágil y técnica cualquiera de las tres rutas. La experiencia y el empirismo tienen falencias significativas a comparación del uso de una aplicación móvil.

5.4 Análisis comparativo mensual

En esta subsección se realiza un análisis comparativo y estadístico mensual entre Rutas. La Ruta 1 se realiza 9 veces por mes, la Ruta 2 realiza 4 veces por mes y la Ruta 3 realiza la ruta logística 3 veces por mes (ver Tabla 19).

Tabla 19

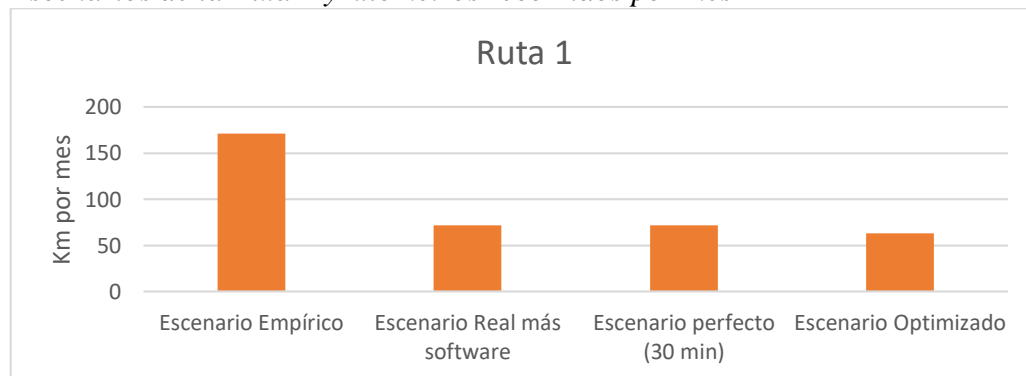
Resumen mensual de operación por Ruta

	Veces por mes
Ruta 1	9
Ruta 2	4
Ruta 3	3

La Figura 11 indica una evidente tendencia a la variación del escenario empírico con respecto a los demás escenarios (con el uso del software). Resulta evidente que, si se realiza una comparación mensual en cuanto a la optimización, el uso del software mejora significativamente los beneficios de una empresa en términos de costos de operación.

Figura 11

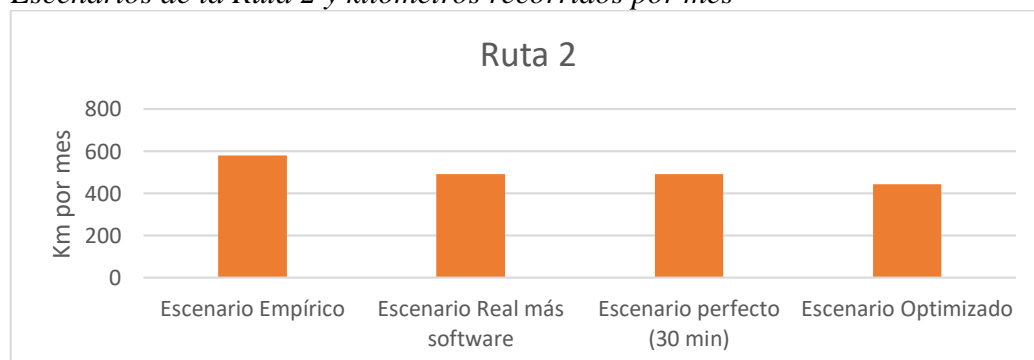
Escenarios de la Ruta 1 y kilómetros recorridos por mes



Fuente: Autor.

Figura 12

Escenarios de la Ruta 2 y kilómetros recorridos por mes

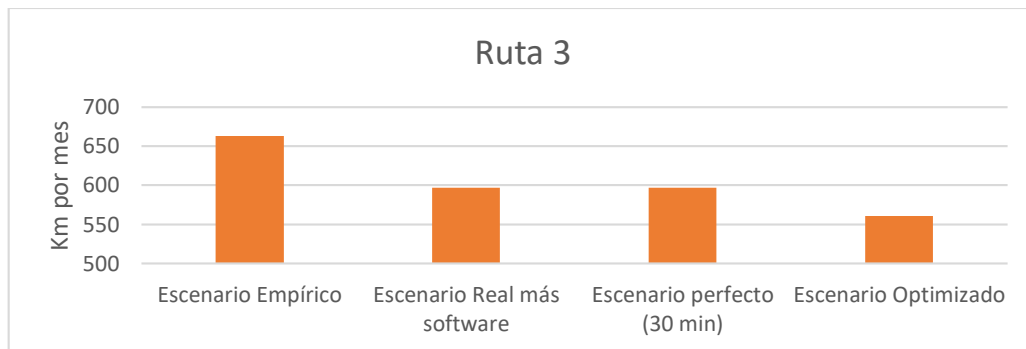


Fuente: Autor.

La Figura 12 demuestra que en la Ruta 2 el escenario empírico parece coincidir con el real. Existe una clara optimización al utilizar el software en comparación con el escenario empírico.

Figura 13

Escenarios de la Ruta 3 y kilómetros recorridos por mes

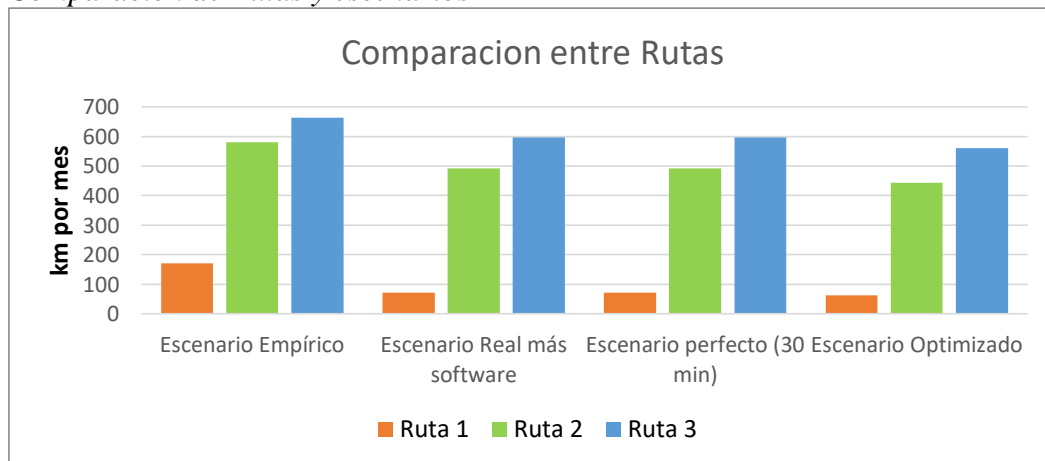


Fuente: Autor.

La Figura 13 presenta que una ruta larga en cuanto al número de kilómetros recorridos y al número de viajes al mes, la utilización del software optimiza y obtiene mejores resultados que el método empírico. Además, la optimización a un escenario optimizado permite reducir considerablemente los kilómetros recorridos por mes comparado con el escenario empírico.

Figura 14

Comparación de Rutas y escenarios



Fuente: Autor.

La Figura 14 nos permite realizar una comparación entre escenarios y rutas. El uso del software Circuit permite una optimización en todas las Rutas planteadas y se hace evidente cuando se compara por mes. La optimización es significativa mediante el software Circuit en Rutas cortas y aún más por el número de veces que se realiza la ruta por mes. En rutas largas el software optimiza sin embargo no es tan evidente como en la Ruta corta. En conclusión, en todos los casos el software permite una optimización logística comparado con el escenario empírico.

Las limitaciones que se encontraron son que el software utiliza un número limitado de vehículos respecto a nuestro estudio. Además, que nuestro estudio no evalúa la capacidad y carga de acuerdo al producto a transportar en camiones.

6. Conclusión

Este trabajo de investigación ha desarrollado una metodología que ha permitido comparar el empirismo y la optimización en materia de gestión de rutas. Los encargados de transportar las mercancías, los responsables de la toma de decisiones y los operadores de transporte, aplican los itinerarios logísticos de forma empírica. A menudo, esto da lugar a distancias y tiempos de viaje inadecuados, lo que provoca un mayor consumo de combustible y, por tanto, mayores costos para las empresas. Estos costos de operación se reducen a un nivel sostenible mediante la utilización de una optimización derivada de una aplicación móvil.

Los resultados indicaron que la gestión de una ruta logística es compleja y requiere algo más que solo la experiencia del conductor. En otras palabras, el uso de programas

informáticos de enrutamiento permite a los gestores regular y minimizar el costo del traslado de mercancías, así como supervisar el trayecto en tiempo real.

Esta metodología cumplió con el objetivo de comprender de forma precisa el enrutamiento de vehículos en la cadena logística de materiales de ferretería en una ruta corta, media y larga de la empresa “Comercial Marcelo Mendieta” en la ciudad de Azogues- Ecuador. Las diferentes etapas de entrega, el tiempo de viaje entre los lugares de destino, y los cambios que se producen a lo largo del día como el tráfico deja en obsoleto la aplicación del empirismo. Por otra parte, la aplicación móvil Circuit optimizo los circuitos en términos de tiempo, distancia y costo de combustible.

La limitación de este estudio es que no se incluye variables como las necesidades de los clientes, la distribución de la carga o los factores ambientales externos.

En futuros estudios se podría adaptar esta metodología a las compañías que utilizan varios camiones de transporte y analizar la capacidad, la carga y el tamaño de una flota de vehículos en función de las mercancías entregadas.

Bibliografía

- Aldás, D. S. (2018). Optimización de costos de inventarios con algoritmo de programación lineal. Caso aplicado industria de producción de suelas. *INNOVA Research Journal*, 3(2.1), 87–92. <https://doi.org/10.33890/innova.v3.n2.1.2018.670>
- Batero Manso, D. F., Orjuela Castro, J. A., Batero Manso, D. F., & Orjuela Castro, J. A. (2018). El Problema de Ruteo e Inventarios en Cadenas de Suministro de Perecederos: Revisión de Literatura. *Ingeniería*, 23(2), 117–143. <https://doi.org/10.14483/23448393.12691>
- Carter, C. R., & Rogers, D. S. (2008). A framework of sustainable supply chain management: Moving toward new theory. In *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*. <https://doi.org/10.1108/09600030810882816>
- Defryn, C., & Sörensen, K. (2018). Multi-objective optimisation models for the travelling salesman problem with horizontal cooperation. *European Journal of Operational Research*, 267(3), 891–903. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.12.028>
- Escobar, J. W., Linfati, R., Toth, P., & Baldoquin, M. G. (2014). A hybrid Granular Tabu Search algorithm for the Multi-Depot Vehicle Routing Problem. *Journal of Heuristics*, 20(5), 483–509. <https://doi.org/10.1007/S10732-014-9247-0>
- Froger, A., Mendoza, J. E., Jabali, O., & Laporte, G. (2019). Improved formulations and algorithmic components for the electric vehicle routing problem with nonlinear charging functions. *Computers & Operations Research*, 104, 256–294. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.12.013>

Goel, A., & Gruhn, V. (2008). A General Vehicle Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 191(3), 650–660. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.12.065>

Gonzalez-L, E. C., Adarme-Jaimes, W., & Orjuela-Castro, J. A. (2015). Modelo matemático estocástico para el problema de ruteo de vehículos en la recolección de productos perecederos. *DYNA*, 82(189), 199–206. <https://doi.org/10.15446/DYNA.V82N189.48549>

Guzmán, E., Poler, R., & Andrés, B. (2020). Un análisis de revisiones de modelos y algoritmos para la optimización de planes de aprovisionamiento, producción y distribución de la cadena de suministro. *Dirección y Organización*, 70, 28–52. <https://doi.org/10.37610/dyo.v0i70.567>

Helo, P., & Shamsuzzoha, A. H. M. (2020). Real-time supply chain—A blockchain architecture for project deliveries. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 63, 101909. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101909>

Kimms, A., & Kozeletskyi, I. (2016). Core-based cost allocation in the cooperative traveling salesman problem. *European Journal of Operational Research*, 248(3), 910–916. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.08.002>

Li, Z., Barenji, A. V., & Huang, G. Q. (2018). Toward a blockchain cloud manufacturing system as a peer to peer distributed network platform. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 54, 133–144. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.05.011>

Morales, J., Quitiaquez, W., & Simbaña, I. (2020). Modelos de optimización matemática aplicables al sector downstream y midstream del petróleo. Revisión de la literatura y

dirección de investigaciones futuras. *Revista Técnica "Energía,"* 17(1), 103–111.

<https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v17.n1.2020.398>

Nadarajah, S., & Bookbinder, J. H. (2013). Less-Than-Truckload carrier collaboration problem: modeling framework and solution approach. *Journal of Heuristics, 19*(6), 917–942. <https://doi.org/10.1007/s10732-013-9229-7>

Navarro, R., Navarro, R., Puris, A., Bello, R., & Herrera, F. (2011). Estudio del desempeño de la optimización basada en mallas variables en problemas con óptimos en las fronteras del espacio búsqueda. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas, 3*(3–4). [https://rcci.uci.cu/?journal=rcci&page=article&op=view&path\[\]=76](https://rcci.uci.cu/?journal=rcci&page=article&op=view&path[]=76)

Oviedo, B., Zambrano-Vega, C., & Puris, A. (2018). *Uso de optimización de mallas variables para el "viajante de comercio."* <https://doi.org/10.22507/rli.v15n2a16>

Oviedo, B., Zambrano-Vega, C., Puris, A., Oviedo, B., Zambrano-Vega, C., & Puris, A. (2018). Uso de optimización de mallas variables para el "viajante de comercio." *Revista Lasallista de Investigación, 15*(2), 210–222. <https://doi.org/10.22507/RLI.V15N2A16>

Prins, C. (2004). A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research, 31*(12), 1985–2002. [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(03\)00158-8](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(03)00158-8)

Rave, J. I. P., & Álvarez, G. P. J. (2013). Espacio literario relevante sobre el problema del vendedor viajero (TSP): contenido, clasificación, métodos y campos de inspiración. *Production, 23*(4), 866–876. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132013005000003>

- Ren, L., Zhang, L., Wang, L., Tao, F., & Chai, X. (2017). Cloud manufacturing: key characteristics and applications. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 30(6), 501–515. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2014.902105>
- Ruiz-Meza, J., & Ruiz-Meza, J. (2021). Problema de ruteo de vehículos multi-objetivo con entregas y recogidas simultáneas y minimización de emisiones. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 29(3), 435–449. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052021000300435>
- Sabar, N. R., Bhaskar, A., Chung, E., Turkey, A., & Song, A. (2019). A self-adaptive evolutionary algorithm for dynamic vehicle routing problems with traffic congestion. *Swarm and Evolutionary Computation*, 44, 1018–1027. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2018.10.015>
- Sánchez, D. E., Gutiérrez, E., Sánchez, D. E., & Gutiérrez, E. (2022). Aplicación de la p-mediana y ruteo de vehículos para la reducción de distancias en una empresa de servicio postal. *Información Tecnológica*, 33(1), 121–130. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642022000100121>
- Tan, S.-Y., & Yeh, W.-C. (2021). The Vehicle Routing Problem: State-of-the-Art Classification and Review. *Applied Sciences*, 11(21), 10295. <https://doi.org/10.3390/app112110295>
- Tarantilis, C. D., Kiranoudis, C. T., & Vassiliadis, V. S. (2004). A threshold accepting metaheuristic for the heterogeneous fixed fleet vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 152(1), 148–158. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00669-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00669-0)

- Vanovermeire, C., & Sörensen, K. (2014). Integration of the cost allocation in the optimization of collaborative bundling. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 72, 125–143. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.09.009>
- Vesga Ferreira, J. C., Granados Acuña, G., & Sierra Carrillo, J. E. (2016). Revisión del estado del arte del problema de ruteo de vehículos con recogida y entrega (VRPPD). *Ingeniería y Desarrollo*, 34(2), 463–482. <https://doi.org/10.14482/INDE.33.2.6368>
- Wu, H., Li, Z., King, B., ben Miled, Z., Wassick, J., & Tazelaar, J. (2017). A Distributed Ledger for Supply Chain Physical Distribution Visibility. *Information*, 8(4), 137. <https://doi.org/10.3390/info8040137>
- Yu, Y., Wang, X., Zhong, R. Y., & Huang, G. Q. (2016). E-commerce Logistics in Supply Chain Management: Practice Perspective. *Procedia CIRP*, 52, 179–185. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.08.002>