



**UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN DE GRADO PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL**

**PROPUESTA PRÁCTICA DEL EXAMEN DE GRADO O DE FIN DE
CARRERA (DE CARÁCTER COMPLEXIVO)
INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL**

TEMA:

**METAHEURÍSTICAS APLICADAS AL PROBLEMA DE RUTEO
VEHICULAR (VRP: VEHICLE-ROUTING PROBLEM). REVISIÓN
DOCUMENTAL.**

Autores: BARRAGÁN MARTÍNEZ LUIS ANTONIO

Acompañante: ING. JUAN JOSE PAREDES QUEVEDO, MSC.

Milagro, diciembre 2018

ECUADOR

DERECHOS DE AUTOR

Ingeniero.

Fabricio Guevara Viejó, PhD.

RECTOR

Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Yo, BARRAGÁN MARTÍNEZ LUIS ANTONIO en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de la propuesta práctica de la alternativa de Titulación – Examen Complexivo: Investigación Documental, modalidad presencial, mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedo a hacer entrega de la Cesión de Derecho del Autor de la propuesta practica realizado como requisito previo para la obtención de mi Título de Grado, como aporte a la Temática METAHEURÍSTICAS APLICADAS AL PROBLEMA DE RUTEO VEHICULAR (VRP: VEHICLE-ROUTING PROBLEM). REVISIÓN DOCUMENTAL del Grupo de Investigación DISEÑO DE SISTEMAS PRODUCTIVO Y LOGÍSTICOS de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de esta propuesta practica en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, a los 05 días del mes de Diciembre de 2018


Nombre: Barragán Martínez Luis Antonio

CI: 0926460489

APROBACIÓN DEL TUTOR DE LA INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL

Yo, PAREDES QUEVEDO JUAN JOSE en mi calidad de tutor de la Investigación Documental como Propuesta práctica del Examen de grado o de fin de carrera (de carácter complejo), elaborado por el estudiante BARRAGÁN MARTÍNEZ LUIS ANTONIO, cuyo título es METAHEURÍSTICAS APLICADAS AL PROBLEMA DE RUTEO VEHICULAR (VRP: VEHICLE-ROUTING PROBLEM). REVISIÓN DOCUMENTAL, que aporta a la Línea de Investigación DISEÑO DE SISTEMAS PRODUCTIVO Y LOGÍSTICOS previo a la obtención del Grado de INGENIERO INDUSTRIAL; considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios en el campo metodológico y epistemológico, para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo APRUEBO, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Examen de grado o de fin de carrera (de carácter complejo) de la Universidad Estatal de Milagro.

En la ciudad de Milagro, a los 05 días del mes de diciembre de 2018.



PAREDES QUEVEDO JUAN JOSÉ
Tutor
C.I.:

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR

El tribunal calificador constituido por:

Presidente: Paredes Quevedo Juan José

Secretario: Avilés Noles Manuel Andrés

Integrante: León Batallas Alberto Andrés

Luego de realizar la revisión de la Investigación Documental como propuesta práctica, previo a la obtención del título (o grado académico) de **INGENIERO INDUSTRIAL** presentado por el señor **LUIS ANTONIO BARRAGÁN MARTÍNEZ**

Con el título: **INGENIERO INDUSTRIAL**




Otorga a la presente Investigación Documental como propuesta práctica, las siguientes calificaciones:

Investigación documental	[70]
Defensa oral	[20]
Total	[90]

Emite el siguiente veredicto: (aprobado/reprobado) Aprobado

Fecha: 5 de 12 de 2018.

Para constancia de lo actuado firman:

	Nombres y Apellidos	Firma
Presidente	Paredes Quevedo Juan José	
Secretario	Avilés Noles Manuel Andrés	
Integrante	León Batallas Alberto Andrés	

DEDICATORIA

A mis padres, hermano y toda mi familia. Por siempre estar pendientes de cada decisión que he tomado a lo largo de mi vida.

A Dios por todo.

AGRADECIMIENTO

A todo el personal docente de la Universidad Estatal de Milagro, sin duda alguna han sido pilar fundamental en el desarrollo de mi profesionalismo. Por este trabajo de manera especial al Ing. Juan José Paredes por su aporte exacto en el desarrollo del mismo.

A todos quienes me extendieron su mano cuando lo necesitaba.

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTOR.....	2
APROBACIÓN DEL TUTOR DE LA INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL.....	3
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR	4
DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTO	6
ÍNDICE GENERAL.....	7
RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	10
INTRODUCCIÓN	11
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	12
1.1. Planteamiento del problema	12
1.2. Justificación.....	13
1.3. Objetivos	13
1.3.1. Objetivo General.....	13
1.3.2. Objetivos específicos.....	13
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	13
2.1. Métodos metaheurísticos	14
2.1.1. Búsqueda centrada en el barrio	15
2.1.2. Búsqueda por población.....	18
2.1.3. Híbridos	20
2.1.4. Búsqueda paralela y cooperativa.....	21
METODOLOGÍA	21
DESARROLLO DEL TEMA.....	22
CONCLUSIONES	31
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Revisión literaria de métodos metaheurísticos	29
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Modelo propuesto. Obtenido de Kuo (2010)	23
---	----

Metaheurísticas aplicadas al problema de ruteo vehicular (VRP: vehicle-routing problem). Revisión documental.

RESUMEN

Se investigó el problema de ruteo vehicular o VRP (Vehicle Routing Problem) y se evidencia que es uno de los inconvenientes más complejos en su aplicación ya que no existe un modelo exacto a seguir para poder determinar una solución óptima si no que se usa una heurística que genera una solución viable, la compara con la anterior y escoge la mejor que resulte. El problema se genera en encontrar puntos de origen en el mapa, la ruta que minimice la distancia, tiempo y costos necesarios para visitar un conjunto de nodos respetando los diferentes tipos de restricciones que se presentan diariamente.

Se pretende con esta revisión detallar metodologías aplicadas en la línea del tiempo, que incurre las implementaciones de modelos logísticos en el cual intervendrán coordenadas geográficas, demandas y optimización del tiempo de cada cliente obteniendo la mejora continua en el servicio y a la vez obteniendo como resultado final la creación de rutas en las cuales abarca la totalidad de los clientes a visitar con un mínimo de distancia a recorrer y así disminuir el excesivo uso de recursos logísticos de la empresa.

PALABRAS CLAVE: meta heurística, ruteo vehicular, revisión documental.

Metaheuristics applied to the problem of vehicular routing (VRP: vehicle-routing problem). Documentary review.

ABSTRACT

The problem of vehicular routing or VRP (Vehicle Routing Problem) was investigated and it is evidenced that it is one of the most complex problems in its application since there is no exact model to follow in order to determine an optimal solution if a heuristic is not used that generates a viable solution, compares it with the previous one and chooses the best one that results. The problem is generated in finding points of origin in the map, the route that minimizes the distance, time and costs necessary to visit a set of nodes respecting the different types of restrictions that are presented daily.

This review aims to detail methodologies applied in the timeline, which incurs the implementation of logistic models in which geographic coordinates, demands and optimization of each client's time will be involved, obtaining continuous improvement in the service and at the same time obtaining the final result the creation of routes in which the totality of the clients includes to visit with a minimum of distance to travel and thus to diminish the excessive use of logistic resources of the company.

KEY WORDS: metaheuristics, vehicle routing, documentary review

INTRODUCCIÓN

Las empresas con relación a su logística realizan actividades como recolección, transporte, distribución y entrega final según rutas y por causas de estudio los problemas de distribución afectan directamente a la competitividad de las empresas, especialmente a aquellas dedicadas al transporte de carga. En cuanto al establecimiento de rutas para los vehículos constituyen un conjunto de problemas diarios que si no se resuelven de manera eficaz, arrastran un deterioro importante en las utilidades de las empresas.

Las empresas dividen sus operaciones en categorías que son en envíos de documentos, y mercancías. Se mencionarán los problemas que posee la empresa en la revisión documental, ya que el trabajo se va a orientar en el seguimiento de rutas para adaptar nuevos métodos o modelos de optimización y ahorro global de tiempo en cuanto a la revisión documental.

El modelo investigado de metaheurística llamado Grasp Clustering & Tabu Routing, fue delineada utilizando una metodología de fases clusterizar primero, rutear después. El procedimiento emplea como técnica el agrupamiento para la generación de clústeres; luego, en la segunda fase se aplica el algoritmo de Búsqueda Tabú para generar las rutas de distribución en cada uno de los clústeres.

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad dar a conocer las condiciones necesarias en las que debe darse la Metaheurística, identificando las características y los elementos que intervienen en el ámbito del transporte y ruteo y como estos interactúan para lograr la concreción del proceso aplicación y solución de la problemática del ruteo vehicular.

Describir los métodos Metaheurísticos, desde un enfoque técnico y como esto repercute en el normal desarrollo del transporte vehicular, los algoritmos propuestos por diversos profesionales del área, como se previene e identifica estos problemas en la transportación y envío desde etapas tempranas, de modo que se dé solución y se promueva un mejor desenvolvimiento en el ámbito logístico, geográfico, técnico y a su vez en el económico-social.

CAPÍTULO 1

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Las empresas, generalmente, diseñan sus rutas sin una planificación inicial y las que se obtienen son muy onerosas, ocasionando que se envíen vehículos extras para poder visitar a todos los clientes de una ruta o que las entregas se realicen fuera del tiempo estimado. Enfocándose en el problema de la distribución, en el que se encierra gran parte de este estudio, es indispensable acogerse al enunciado de Toth y Vigo (2000): "La problemática de repartir productos desde ciertos depósitos a sus usuarios finales juega un papel crucial en la gestión de varios sistemas logísticos, y su correcta esquematización puede considerar ahorros significativos. Esos potenciales ahorros justifican en gran medida la utilización de técnicas de investigación, dado que se estima que los costos del transporte incurren entre el 10% y el 20% del costo final de los bienes".

El problema de ruteo de vehículos (VRP) y sus variantes surgen de manera protagónica en áreas de logística y transporte, es el nombre universal que menciona diversas clases de problemas en los que se debe definir una serie de rutas para una flota vehicular que se basa en uno o más centros de distribución, para un número de ciudades o consumidores geográficamente dispersos. La aplicación o el manejo correcto del VRP es uno de los problemas más desafiantes que existen en su tipo, debido a optimización combinatoria y programación no lineal y que a la vez incurre, frecuentemente, en aplicaciones industriales. Todo lo que entra inmerso en este problema de transporte es mandatorio determinar la tipología de recurso que se utilizará, la cantidad y las rutas en seguimiento, lo que se califica problema de ruteo y es considerado en muchos de las investigaciones como el problema del agente viajero (TSP, por las siglas en inglés de Traveling Salesman Problem), o generalizando, para: problemas con capacidad definida (Pereira, Tavares, Machado, & Costa, 2002), en la cual está generalizado el VRP (Olivera, 2004).

Se sabe que para ciertos productos su costo depende, en gran medida, a la forma en que éste se mueve a través del canal de distribución. La optimización de la ruta logística puede disminuir sensiblemente el costo del producto, además de proveer valores agregados intangibles como la satisfacción del cliente y lealtad a la marca debido a entregas a tiempo y costos razonables (Odette., 2009). En la actualidad, el servicio al cliente constituye un

punto de vital importancia en el mercado, por lo cual las empresas se ven obligadas a realizar sus operaciones sin desmejorar la atención brindada al consumidor, considerando a ésta como el valor agregado que marca la diferencia entre el servicio que da una u otra empresa.

Otro punto muy importante a considerar es la variable tiempo, porque es ésta quien determina, en una jornada de trabajo, el aumento o disminución de costos fijos o variables. Aquellas empresas que administran flotas de camiones poseen la problemática de planificar rutas de una forma que les permitan ser eficientes.

1.2. Justificación

Partiendo desde que las empresas deben reestructurarse en el manejo de los pedidos para que se pueda realizar una planificación de rutas con un modelo fijo, la investigación documental busca analizar las Metaheurísticas, sus variantes y las diversas aplicaciones, comparándolas entre ellas y tener un punto de inicio para futuros usos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Analizar los diversos modelos metaheurísticos que intervienen en el problema de ruteo de vehículos mediante la investigación documental

1.3.2. Objetivos específicos

- Establecer los distintos métodos metaheurísticos que intervienen en el problema de ruteo de vehículos
- Analizar distintas investigaciones sobre la aplicación de metaheurísticas para contrarrestar el problema de ruteo de vehículos.
- Comparar el comportamiento de los métodos metaheurísticos en el sistema de ruteo de vehículos propuesto con diversos investigadores.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. Métodos Metaheurísticos

Los métodos Metaheurísticos son procedimientos de mejora que comienzan a partir de una solución anterior obtenida por heurísticas y tienen como objetivo explorar el espacio de búsqueda para obtener las soluciones óptimas o casi óptimas mediante un número finito de cambios iterativos; Normalmente, estos métodos obtienen tales mejoras manipulando componentes básicos de la solución inicial.

Según la literatura, el término metaheurística fue usado por primera vez por Fred Glover (1986) para describir una gran clase de métodos heurísticos que realizan algoritmos de búsqueda adicionales después de encontrar el óptimo local. Por lo tanto, una forma burda de definir las metaheurísticas es la heurística que guía otras heurísticas.

Los métodos metaheurísticos representan un dominio de investigación esencial en los problemas de optimización combinatoria. Por esa razón, podemos encontrar una vasta colección de libros y literatura sobre diferentes enfoques sobre este tema (Vidal, Crainic, Gendreau, & Prins, 2013). A menudo, definimos como inicialización para metaheurísticas el procedimiento donde se selecciona la mejor solución entre varias ejecuciones. El recocido simulado, los algoritmos genéticos, la búsqueda de tabú, los algoritmos de hormigas, la programación de restricciones junto con los métodos de búsqueda local son algunas de las principales técnicas conocidas para los procedimientos metaheurísticos. Distinguimos entre:

- Los métodos centrados en el vecindario, que exploran de forma iterativa los vecindarios de una sola solución. Los algoritmos de búsqueda de vecindario son esenciales en el estudio del VRPTW a gran escala, ya que la mayoría de las soluciones se basan en la búsqueda local o hacen uso de los componentes de la búsqueda local.
- Enfoque basado en la población, genera nuevas soluciones al evolucionar las actuales y crear nuevas combinaciones de ellas. Este tipo de métodos a menudo están inspirados en comportamientos naturales.
- Métodos híbridos, que combinan elementos de diferentes métodos de solución.
- Los métodos de búsqueda paralelos y cooperativos, exploran las fortalezas y capacidades de varias metaheurísticas y explotan al máximo su interacción particular.

2.1.1. Búsqueda centrada en el barrio

Simulated Annealing (SA) es un método probabilístico propuesto por Kirkpatrick, Gelett Vecchi (1983) La idea principal es encontrar el mínimo global de una función determinada que puede tener varios mínimos locales inviabiles (Aarts & Korst, 1988) (Resende & Pardalos, 2002)

Este método debe su nombre a la emulación del proceso físico donde un metal sólido se calienta a una temperatura máxima a la que todas las partículas se disponen al azar en un estado líquido, luego este líquido se enfría lenta y cuidadosamente a través de la reducción de la temperatura hasta que se alcanza el estado de congelación y las partículas están dispuestas en una estructura molecular de energía mínima.

La SA se considera un algoritmo estocástico, que facilita un análisis teórico de su convergencia asintótica (Aarts, Korst, & Michiels, 2005) y permite saltos ascendentes aleatorios en un patrón controlado para que pueda escapar de los óptimos locales. Entonces, la posibilidad de que la función objetivo aumente es menor hasta que no sean posibles más saltos.

Además, el algoritmo se puede aplicar a una gran cantidad de problemas, incluido el problema de enrutamiento del vehículo (Gendreau, Laporte, & Potvin, 1997). El algoritmo de recocido determinístico es una combinación entre el método de aceptación de umbral (Dueck & Scheuer, 1990), que es una modificación de la SA, y el registro para registrar el viaje. Otros métodos deterministas fueron propuestos por Tarantilis et al. (2002) y Golden et al. (1998)

Tabu Search (TS), introducido por primera vez por Glover (1989), como un método metaheurístico general para resolver problemas de optimización combinatoria. Los algoritmos TS se consideran una técnica de aproximación eficiente con resultados computacionales dignos, que pueden competir con casi todas las otras técnicas de optimización y dejar atrás los enfoques clásicos.

El algoritmo se realiza como una búsqueda vecina local. Puede verse como un procedimiento iterativo que analiza un conjunto de problemas donde una solución S tiene un conjunto asociado de los vecinos $N(S)$, al realizar la operación, denominaron movimientos, de una solución S a otra solución S_j dentro de un vecindario $N(S)$ de S (Glover, Laguna, Taillard, & De Werra, 1993).

Los movimientos ocurren desde una solución hasta su mejor vecino factible, admitiendo que puede hacer que la función objetivo disminuya. Este procedimiento de búsqueda de optimización debe su nombre a la forma en que el algoritmo evita los ciclos, las soluciones que se han examinado recientemente se denominan tabu o están prohibidas para un cierto número de iteraciones. La etiqueta tabu de una solución se elimina cuando se cumplen ciertas condiciones, llamadas criterios de aspiración.

TS funciona mucho mejor que el sistema de hormigas, sin embargo, este último método es todavía muy potencial de mejora. El TS para los VRPs ha sido excepcionalmente fructífero, esto se debe a dos hechos. Primero, el método de búsqueda tabú demostró ser una excelente estrategia para resolver problemas de enrutamiento y se ha estudiado y mejorado con frecuencia desde su introducción. En segundo lugar, se han presentado muchas más estrategias de búsqueda tabú e investigación relacionada para los VRPs (Augerat, Belenguer, Benavent, Corbérán, & Naddef, 1998) que cualquier otro método.

Entre las diferentes estrategias de TS para el VRP podemos encontrar: La búsqueda tabular granular (GTS), introducida por Paolo Toth y Deniele Vigo (2003), este método se puede aplicar de manera eficiente a una amplia clase de problemas de optimización combinatoria, ya que El algoritmo utiliza una herramienta eficaz para la intensificación y diversificación. El procedimiento de memoria adaptativa (Rochat & Taillard, 1995), también aplicable a otro tipo de metaheurísticas, implementa una memoria adaptativa como un conjunto de buenas soluciones que se actualiza dinámicamente a lo largo del proceso de búsqueda. Finalmente, la estrategia de Kelly y Xu (1996), que incluye una estrategia de reposicionamiento global que resuelve un modelo de flujo de red que reubica un número dado de vértices en diferentes rutas y toma en cuenta la capacidad del vehículo.

Variable Neighbourhood Search (VNS) es una metaheurística de optimización combinatoria cuya idea básica es un cambio metódico de vecindad dentro de un procedimiento de búsqueda local (Hansen & Mladenovic, 2001).

Gendreau y Kytöjokia (2007) presentaron un algoritmo VNS para VRP a gran escala para resolver desafíos del mundo real. El método que propusieron fue rápido y competitivo para encontrar soluciones de alta calidad para instancias con hasta 20,000 clientes dentro de un tiempo de CPU aceptable.

Large Neighbourhood Search (LNS) se introdujo por primera vez para el VRPTW por Shaw (1998), este método puede considerarse como un caso especial de VNS. La estrategia propuesta por Shaw utiliza un esquema basado en restricciones para encontrar soluciones para los diferentes subproblemas TSPTW que obtienen resultados de alta calidad. Los resultados demostraron muchas ventajas al usar la búsqueda local basada en restricciones, en el formulario LNS, sobre las estrategias tradicionales de búsqueda local, no solo en el caso del VRP, sino en aplicaciones generales.

Las metaheurísticas de LNS exploran una gran parte de la solución actual seleccionando una cantidad de visitas de clientes para eliminar del plan de enrutamiento, los movimientos se realizan como en la Búsqueda local y luego las visitas eliminadas se vuelven a insertar mediante la propagación de restricciones en el árbol de búsqueda. Los movimientos realizados en LNS son generalmente muy potentes, tal potencial le da a LNS su nombre (Goel & Gruhn, 2008).

LNS se combina muy bien con las estrategias de CP, que se utilizan para verificar la validez de los movimientos y también para determinar los valores de las variables restringidas. La tecnología CP permite una mejora iterativa que se puede ejecutar para reducir los dominios y acelerar el procedimiento de búsqueda mediante controles rápidos de legalidad. Además, la adición de restricciones laterales se puede manejar fácilmente.

Para obtener mejoras en nuestra primera solución, estamos interesados en utilizar métodos de búsqueda local y estrategias de propagación de restricciones. Nuestro desafío es obtener las mejores características y aprovechar ambos métodos. En otras palabras, usaremos LS para realizar la exploración del vecindario y el poder de propagación desde el PC.

La metaheurística de Búsqueda de gran vecindario adaptativa (ALNS) (Ropke & Pisinger, 2006) se propuso como una extensión del LNS, la idea principal detrás de ALNS es permitir múltiples métodos de destruir / reparar dentro de la misma búsqueda.

Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) es un algoritmo de búsqueda iterativo de dos fases, aplicado a problemas de optimización combinatoria. GRASP fue introducido por primera vez por Feo y Resende (1995) y ha ganado amplia popularidad en el campo de la optimización combinatoria.

Las dos fases son: fase de construcción y procedimiento de búsqueda local. La fase de construcción consiste en iteraciones construidas a partir de construcciones sucesivas de una

solución aleatoria codiciosa, es decir, una función codiciosa aleatoria constituye una solución inicial y proporciona una solución viable para cada iteración. Luego, en la segunda fase, la solución se mejora de forma iterativa mediante el uso de una lista tabu para abrir depósitos y la aplicación de un procedimiento de búsqueda local basado en operadores de movimiento. La solución final es el mejor resultado encontrado en todas las iteraciones. Los documentos de encuesta sobre GRASP para el VRP se presentan en (Hjorring, 1995).

2.1.2. Búsqueda por población

Los algoritmos genéticos (AG) son procedimientos de búsqueda de optimización, basados en la selección natural y los mecanismos genéticos naturales y en la resolución muy efectiva de problemas a gran escala. Las GA introdujeron un enfoque particularmente interesante para los problemas de enrutamiento de vehículos, ya que son realmente efectivos para la búsqueda global rápida de espacios grandes no lineales. John Holland (1992) propuso la primera AG que permite a las computadoras derivar soluciones a problemas combinatorios difíciles de optimización, como el aprendizaje automático

El proceso de evolución en la naturaleza es emulado por los algoritmos genéticos (Golberg, 1989). Para decirlo de otra manera, las AG se basan en la imitación del proceso biológico de selección natural en el que sobreviven y se desarrollan las nuevas poblaciones más fuertes entre las diferentes especies.

A diferencia de otros métodos heurísticos clásicos, los algoritmos genéticos utilizan la información sobre una población de soluciones, también conocidas como individuos, cuando intentan encontrar mejores soluciones. Además, el tamaño de la población, llamado generación, es una condición constante en cada iteración del algoritmo.

Una AG es un procedimiento itocativo estocástico, en el cual la operación básica es combinar soluciones actuales para formar una nueva. Para generar una nueva población, se necesita una mutación, esta está formada por un operador binario llamado crossover y un operador unario (Reeves, 1993). El procedimiento de cruce toma dos individuos y genera dos nuevos individuos, respectivamente llamados padres y descendientes, mediante la combinación de diferentes partes de los padres.

Se han presentado algoritmos genéticos para el VRP y VRP capacitado (Prins, 2004), métodos híbridos (Berger, 2003), algoritmos de búsqueda local genética (Jaszkiewicz &

Kominek, 2003), algoritmo de estrategias de evolución multiparamétrica (Mester, Bräysy, & W. Dullaert, 2007).

Algoritmos de hormigas El sistema de hormigas utilizado en el TSP fue introducido por primera vez por Dorigo, Colorni y Maniezzo (1996) para resolver problemas de optimización combinatoria. Sin embargo, el primer sistema de hormigas para el VRP fue diseñado por Bullnheimer et al. (1999), quienes consideraron la variante de CVRP.

La motivación de este sistema recae en el comportamiento natural real de las hormigas que buscan comida, la inspiración para reproducir la forma en que una colonia de hormigas resuelve los problemas de optimización combinatoria. Es notable el hecho de que las hormigas siempre siguen el mismo camino, y sorprendentemente este es el camino más corto posible. A través de las feromonas, las hormigas pueden comunicar información sobre las fuentes de alimentos. Mientras las hormigas caminan (todas ellas se mueven a una velocidad constante), marcan el camino recorrido colocando la feromona con la información correspondiente a la calidad y cantidad de la fuente de alimento. Luego, otras hormigas seguirán el rastro de la feromona y atraerá más y más hormigas, por lo tanto, la cantidad de feromona en este camino es mayor.

El concepto de aprendizaje por refuerzo (Thrun, 1992) surge en el sistema de hormonas metaheurísticas. Dicha noción consiste en ajustar automáticamente algunos componentes y parámetros heurísticos a medida que el proceso evoluciona. Esto significa que el método permite a los sistemas "aprender" cómo tomar buenas decisiones basadas en su propio comportamiento e incorporar mecanismos de refuerzo para mejorar la calidad de sus acciones. Según Bullnheimer et al. (1999), el sistema de hormigas consta de dos fases básicas. El primero es la construcción de la ruta del vehículo y el segundo es la actualización del sendero.

En los años siguientes, se resolvió una variante más compleja del problema de enrutamiento del vehículo (VRP) con los algoritmos ant (Gambardella, Taillard, & G. Agazzi, 1999). En las cuales las colonias de hormigas artificiales fueron diseñadas para optimizar sucesivamente una función objetivo múltiple, una colonia minimizó la flota requerida y la otra colonia se enfocó en minimizar las distancias. La cooperación entre las dos colonias fue posible debido a la información compartida en la feromona. Se han presentado estudios más recientes en la literatura sobre algoritmos de colonias de hormigas.

Ting y Chen (2013) propusieron una heurística de optimización de colonias de hormigas múltiples (MACO) y Abdulkader, Gajpal, ElMekkawy (2015) propusieron un algoritmo de colonia de hormigas híbrido combinado con métodos de búsqueda local para resolver el vehículo de compartimentos múltiples Problema de enrutamiento.

Estamos convencidos de que las futuras investigaciones sobre el método del sistema ant ayudarán a mejorar su calidad para resolver el VRP, incluso si ahora es incompetente con los mejores enfoques de búsqueda de tabulaciones (1999).

2.1.3. Híbridos

Las metaheurísticas híbridas combinan características de varias metodologías de solución para aprovechar las diferentes fortalezas (Van Breedam, 2001). Los elementos de una metaheurística se pueden incluir en un método completamente diferente o los algoritmos se pueden llamar de manera consecutiva. Los híbridos no solo combinan conceptos metaheurísticos, también pueden combinar módulos algorítmicos de procedimientos de búsqueda, programación matemática, programación de restricciones, etc.

Es difícil definir el alcance de las metaheurísticas híbridas, ya que el término puede abarcar numerosas estrategias y la idea sigue siendo muy general. En esencia, es posible considerar cualquier método metaheurístico como un híbrido, ya que describen una combinación de heurísticas. Sin embargo, para eliminar el concepto de hibridación, lo definimos como una metaheurística que apunta a explotar la ventaja de combinar diferentes ideas de métodos de solución para analizar una gran variedad de estrategias de solución para lograr mejores resultados.

Hay una lista extensa de métodos híbridos descritos en la literatura de VRP (Allahyari, Salari, & Vigo, 2015). Estas estrategias pueden incluir conceptos combinados de centro de vecindario, como SA / Tabu propuesto por Osman (1993), Tabu / ILS, etc. O métodos basados en la búsqueda local con procedimientos de reinicio, vecindarios variables o penalizaciones en los atributos de las soluciones. Además, podemos encontrar una combinación de búsqueda poblacional y por vecindario, por ejemplo, GA / LS, GA / Tabu, etc.

Los híbridos representan un campo de investigación extremadamente prometedor para el VRP, especialmente debido a la tendencia hacia un número cada vez mayor de métodos y atributos de solución.

2.1.4. Búsqueda paralela y cooperativa.

La búsqueda metaheurística paralela (Alba, 2005) consiste en la inspección eficiente del trabajo simultáneo o cooperativo para resolver un problema de optimización, generalmente en diferentes procesadores. Se han definido diferentes tipos de estrategias basadas en la cooperación según cómo se obtiene el paralelismo, cómo se realiza la búsqueda y cómo se comunican las tareas.

El objetivo principal es resolver casos de problemas más grandes que los obtenidos mediante métodos secuenciales, y hacerlo en un tiempo razonable (Crainic & Toulouse, 2010). Las estrategias de búsqueda paralelas crean un gran interés en el campo del problema de enrutamiento, ya que demostró ser mucho más robusto que los métodos secuenciales. Además, el paralelismo ofrece un rendimiento típicamente alto en una gran variedad de características de instancias y configuraciones de problemas.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

El presente es un análisis descriptivo que tiene como fin conocer las características de la Heurística, determinando su aplicación en la solución de la problemática de ruteo vehicular y de si actualmente se cumplen dichos parámetros, así como también el describir los métodos que durante décadas han sido propuestos por diversos profesionales en el área, partiendo desde los algoritmos propuestos, tipología y de cómo el mismo se adaptan para mejorar y dar vías de solución a la problemática del ruteo vehicular.

Según (Tamayo y Tamayo M., pág. 35) en su libro Proceso de investigación científica, el análisis descriptivo comprende: “la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual y la composición o proceso de los fenómenos. El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre grupos e personas o cosas, se conduce o funciona en presente”.

A su vez (Sabino, 1986, pág. 51) afirma que: “La investigación de tipo descriptiva, trabaja sobre realidades de hechos y su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta. Para la investigación descriptiva, su preocupación primordial radica en descubrir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utilizando criterios sistemáticos que permitan poner de manifiesto su estructura o comportamiento. De esta forma se pueden obtener las notas que caracterizan la realidad estudiada”.

De este modo, mediante el análisis descriptivo de los algoritmos y métodos propuestos de Metaheurística, así como también, de las características internas y externas del problema de ruteo vehicular, se pretende extraer conclusiones que indiquen las estrategias y técnicas que como investigador estaba buscando a partir de los datos que se han obtenido a los largo de este trabajo de investigación y que resulten más eficaces dando así, solución viable certera en la problemática de ruteo.

CAPÍTULO 4

DESARROLLO DEL TEMA

Kuo (2010) propuso un modelo para calcular el consumo total de combustible, el tiempo total de transporte y la distancia total de transporte para el problema de enrutamiento del vehículo (VRP) cuando se le da un plan de enrutamiento del vehículo. El modelo propuesto también satisface el criterio de no pasar, que es el sentido común. Además, no se pudieron encontrar ejemplos en la literatura que tomó en cuenta el consumo de combustible en el VRP. Luego se propuso un algoritmo de Simulated Annealing (SA) para optimizar la

planificación de rutas. En la figura 1 se presenta el modelo utilizado en para el trabajo del autor

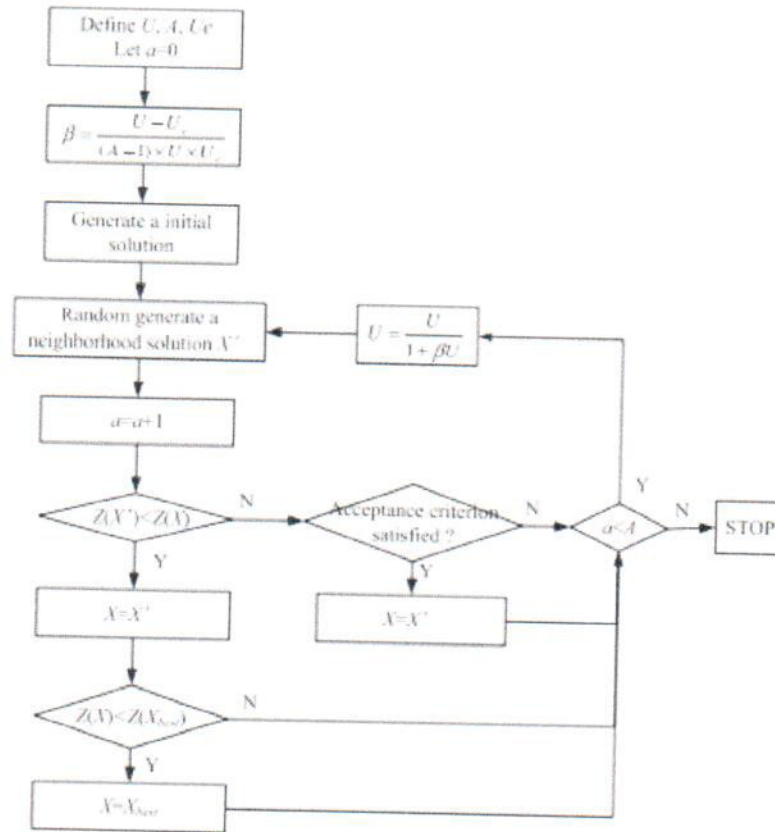


Figura 1 Modelo propuesto. Obtenido de Kuo (2010)

De acuerdo con los resultados experimentales, el método propuesto produce un mejor plan de enrutamiento con menor consumo de combustible pero tiempos de transporte y distancias de transporte más prolongados. Por lo tanto, puede haber una compensación entre el consumo de combustible, los tiempos de transporte y las distancias de transporte. El uso del método propuesto resultaría en tiempos de transporte más largos y un aumento consecuente en la demanda de tiempo del vehículo y costos de mano de obra. Esto disminuiría la eficiencia de la operación de transporte. La optimización del plan de enrutamiento con múltiples criterios sería otra opción. Sin embargo, a medida que crece la preocupación por el calentamiento global, reducir la descarga de carbono se ha convertido en un tema importante para todas las industrias. Minimizar el consumo de combustible será cada vez más importante en comparación con otros criterios.

Los resultados muestran que el método propuesto proporciona una mejora del 24.61% en el consumo de combustible sobre el método basado en minimizar el tiempo de transporte y una mejora del 22.69% sobre el método basado en minimizar las distancias de transporte. Si bien estos tres factores tienen un gran impacto en el consumo de combustible del transporte, otros factores también deben tenerse en cuenta, como los tipos de vehículos y los gradientes de las carreteras. Si una flota de vehículos se compone de varios tipos diferentes de vehículos, o si algunas de las secciones de la carretera están a través de montañas con pendientes pronunciadas, se debe modificar el modelo de cálculo propuesto o el algoritmo SA. Además, el algoritmo SA propuesto en esta investigación tenía como objetivo proporcionar una prueba para el modelo de cálculo de consumo de combustible propuesto en su versión general (o simple).

Kergosien, Lenté, Piton y Billaut (2010) han considerado un problema dinámico de transporte de pacientes entre unidades de atención en un complejo hospitalario francés. La función objetivo era minimizar el costo total de transporte. Se ha desarrollado un algoritmo Tabu Search. El algoritmo admite una memoria adaptativa que almacena rutas y que consiste en realizar iterativamente un algoritmo de búsqueda tabú: para mejorar el conjunto de soluciones iniciales, para la exploración de vecindarios y, finalmente, para mejorar la solución final. Este método presenta la ventaja de la flexibilidad y la solidez: flexibilidad porque se puede adaptar fácilmente para tener en cuenta las tareas previas, a fin de respetar las opciones de los operadores; robustez, ya que si la solución actual se vuelve inviable debido a eventos inesperados (como demandas de emergencia), se puede encontrar rápidamente una nueva solución, con la ayuda de la memoria adaptativa. Nuestros resultados muestran que el método propuesto puede encontrar rápidamente buenas soluciones y puede proporcionar Ayuda al operador en tiempo real para asignar vehículos a las nuevas demandas de transporte.

Fleszar, Osman e Hindi (2009), el objetivo de su investigación es minimizar el número de vehículos y luego minimizar la distancia total (o tiempo) recorrida. Cada ruta comienza en el depósito y termina en un cliente, visitando a varios clientes, cada uno en ruta, sin regresar al depósito. La demanda de cada cliente debe ser cumplida completamente por un solo vehículo. La demanda total atendida por cada vehículo no debe exceder la capacidad del vehículo. Además, en una variante del problema, el tiempo de viaje de cada vehículo no debe exceder un límite superior. Se propone una heurística de Variable Neighbourhood Search

(VNS) efectiva para este problema. Los vecindarios se basan en la inversión de segmentos de rutas (sub-rutas) y en el intercambio de segmentos entre rutas. Los resultados computacionales en dieciséis instancias de problemas de referencia estándar muestran que el VNS propuesto es comparable en términos de calidad de solución a las heurísticas publicadas de mejor desempeño.

Gran parte del poder de la VNS propuesta se debe a la definición de la estructura del vecindario, que se basa en la inversión de segmentos de rutas (sub-rutas) y el intercambio de segmentos entre rutas. El tamaño de los vecindarios es limitado ya que solo permite intercambios que son factibles en términos de capacidad del vehículo. Sin embargo, sería interesante averiguar si permitir que se viole esta restricción en una solución intermedia, a costa de aumentar considerablemente el tiempo de cómputo, puede conducir al descubrimiento de mejores soluciones, ya que entonces se permitiría una mayor libertad de búsqueda. El trabajo presentado demuestra el poder de VNS, siendo, como se muestra, capaz de encontrar soluciones excelentes para un problema de optimización combinatoria sumamente difícil. Este poder debería convertirlo en una metaheurística útil para resolver muchos problemas en el transporte y la logística.

Demir, Bektaş y Laporte (2012) han descrito un algoritmo heurístico para resolver el PRP. El algoritmo itera entre un VRPTW y un problema de optimización de la velocidad, el primero se resolvió mediante un ALNS mejorado y el último se resolvió mediante un procedimiento de tiempo polinomial. El ALNS mejorado utiliza operadores de extracción e inserción nuevos, así como existentes, que mejoran la calidad de la solución. Estos operadores se pueden utilizar en ALNS para resolver otros tipos de problemas. La SOA, por otro lado, mejora la solución producida por la ALNS y minimiza los costos de consumo de combustible y los salarios de los conductores al optimizar las velocidades de los vehículos. El algoritmo de optimización de velocidad tiene un tiempo de ejecución insignificante y es lo suficientemente genérico como para ser usado como una rutina independiente para otros tipos de problemas de enrutamiento con el fin de optimizar la velocidad. Para evaluar completamente la efectividad del algoritmo heurístico, hemos generado diferentes conjuntos de instancias basadas en datos geográficos reales y hemos compilado una biblioteca de instancias de PRP. Los autores han presentado los resultados de una extensa experimentación computacional utilizando la heurística propuesta y la hemos comparado con las soluciones producidas utilizando la formulación de programación lineal entera del PRP. Los resultados

muestran que el algoritmo propuesto es altamente efectivo para encontrar soluciones de buena calidad en casos con hasta 200 nodos.

Layeb, Ammi y Chikhi (2013) presentaron un nuevo algoritmo GRASP para resolver el problema de enrutamiento del vehículo capacitado. El enfoque propuesto se basa, en primer lugar, en una nueva heurística constructiva; La primera fase de esta heurística es la construcción de un tour gigante sujeto al valor de densidad de cada cliente. El recorrido se divide de acuerdo con las demandas de los clientes y la capacidad disponible del vehículo. En segundo lugar, para mejorar la calidad de la solución encontrada en la fase de construcción, hemos utilizado un recocido simulado adaptativo basado en varios operadores de vecindarios como la segunda fase del algoritmo GRASP. Los resultados obtenidos en dos puntos de referencia diferentes son muy alentadores y demuestran la calidad del enfoque propuesto.

Estos resultados muestran que GRASPVRP es mejor que algunos otros enfoques, como Tabu Search (TS) y Simulated Annealing (OSA), el programa SEPAS basado en la programación de memoria adaptativa; nuestro algoritmo ocupa el tercer lugar según lo informado por la prueba de Friedman.

Alba & Dorronsoro (2004) presenta diferentes algoritmos basados en cGA para resolver el problema de enrutamiento del vehículo. La técnica de AG celular utilizada mantiene la diversidad de la población durante más tiempo con respecto a los GA panmícticos (población única) debido al uso de pequeños vecindarios superpuestos. Esta característica con frecuencia evita que el algoritmo se atasque en óptimos locales.

En primer lugar, se ha propuesto un enfoque inicial y simple de una CGA para resolver el VRP. Se ha demostrado que agregar un paso de búsqueda local a ese enfoque simple es suficiente para obtener un algoritmo realmente poderoso. El paso de búsqueda local se compone de métodos simples como 2-Opt o λ -Interchange. Con ellos hemos obtenido los mejores resultados conocidos para todas las instancias propuestas, especialmente con cGA2o1i.

Los algoritmos propuestos se comparan con un algoritmo TS capaz de encontrar los mejores resultados conocidos para todas las instancias del punto de referencia CMT, a un algoritmo genético propuesto por Prins, a un algoritmo genético híbrido y también a dos algoritmos de

hormigas, así como contra otras heurísticas ad hoc. Se ha demostrado que cGA2o1i es más rápido que los algoritmos en comparación con él en este documento para muchos casos.

Además, las cGA estudiadas en esta investigación tienen la ventaja de su simplicidad y precisión con respecto a las técnicas existentes. Los algoritmos son solo un primer enfoque, susceptibles de mejora. Por lo tanto, como trabajo futuro, se puede pensar en probar otras técnicas de búsqueda locales, como usar solo el intercambio λ solo sin 2-Opt. Otro posible trabajo futuro puede ser tratar de ajustar mejor los parámetros de la CGA y probar los algoritmos en puntos de referencia más grandes

Bell, J & McMullen (2004) aplicaron el método meta-heurístico de optimización de colonias de hormigas múltiples (MACO) a un conjunto establecido de problemas de enrutamiento de vehículos (VRP). El procedimiento simula los procesos de toma de decisiones de las colonias de hormigas cuando buscan alimento y es similar a otras técnicas de aprendizaje adaptativo e inteligencia artificial, como la búsqueda de tabú, el recocido simulado y los algoritmos genéticos. Las modificaciones se realizan en el algoritmo ACO utilizado para resolver el problema del vendedor ambulante tradicional para permitir la búsqueda de las múltiples rutas del VRP. La experimentación muestra que el algoritmo tiene éxito en encontrar soluciones dentro del 1% de las soluciones óptimas conocidas y se encuentra que el uso de múltiples colonias de hormigas proporciona una técnica de solución comparativamente competitiva, especialmente para problemas más grandes. Además, el tamaño de las listas de candidatos utilizadas dentro del algoritmo es un factor importante para encontrar soluciones mejoradas, y los tiempos computacionales para el algoritmo se comparan favorablemente con otros métodos de solución.

En resumen, los enfoques meta-heurísticos del VRP a menudo incorporan métodos de mejora y construcción de soluciones como se describió anteriormente. Sin embargo, generalmente las soluciones de mejor calidad que los algoritmos que aplican la construcción de soluciones sencillas y técnicas de mejora por su cuenta. Sin embargo, esto a menudo conlleva una mayor complejidad en la implementación y un mayor tiempo de cómputo. Bräysy y Gendreau (2005) identificaron varias técnicas que parecen dar buenos resultados cuando se aplican dentro de los diferentes enfoques meta-heurísticos. Algunas de estas técnicas son: 1) guardar las mejores soluciones encontradas durante la búsqueda, 2) variar la estructura del vecindario, siendo el tamaño del vecindario típicamente pequeño, 3) usar una estructura de memoria para facilitar la búsqueda, 4) aplicar una estrategia específica para

reducir el número de rutas en la solución y 5) hibridación de diferentes heurísticas y meta-
heurísticas.

En la tabla 1 se presenta el resumen de la revisión literaria realizada en el presente trabajo.

Tabla 1
 Revisión literaria de métodos metaheurísticos

Autor	Año	Objetivo	Método MetaHeurístico	Resultado
Kuo	2010	Calcular el consumo total de combustible, el tiempo total de transporte y la distancia total de transporte para el problema de enrutamiento del vehículo (VRP)	Simulated Annealing	Mejora del 24.61% en el consumo de combustible sobre el método basado en minimizar el tiempo de transporte y una mejora del 22.69% sobre el método basado en minimizar las distancias de transporte.
Kergosien, Lenté, Piton y Billaut	2010	Minimizar el costo total de transporte de pacientes entre unidades de atención de un complejo hospitalario	Tabu Search	Los experimentos computacionales muestran que el método puede proporcionar soluciones de alta calidad para este problema de transporte dinámico.
Fleszar, Osman & Hindi	2009	Minimizar el número de vehículos y luego minimizar la distancia total (o tiempo) recorrida	Variable Neighbourhood Search	Los resultados computacionales en dieciséis instancias de problemas de referencia estándar muestran que el VNS propuesto es comparable en términos de calidad de solución a las heurísticas publicadas de mejor desempeño.
Demir, Bektaş & Laporte	2012	Proponer un algoritmo extendido de "Adaptive Large Neighborhood Search" (ALNS) para el PRP	Adaptive Large Neighborhood Search	Los resultados muestran que el algoritmo propuesto es altamente efectivo para encontrar soluciones de buena calidad en casos con hasta 200 nodos.
Layeb, Ammi & Chikhi	2013	Proponer un algoritmo GRASP basado en una nueva heurística y el recocido simulado para resolver el problema de enrutamiento de vehículos	Greedy Adaptive Procedure Randomized Search	Estos resultados muestran que GRASPVRP es mejor que algunos otros enfoques, como Tabu Search (TS) y Simulated Annealing

Alba & Dorronsoro	2004	Presentar diferentes algoritmos basados en cGA para resolver el problema de enrutamiento del vehículo	algoritmos genéticos	<p>Los algoritmos propuestos se comparan con un algoritmo TS capaz de encontrar los mejores resultados conocidos para todas las instancias del punto de referencia CMT, a un algoritmo genético propuesto por Prins, a un algoritmo genético híbrido y también a dos algoritmos de hormigas, así como contra otras heurísticas ad hoc</p> <p>La experimentación muestra que el algoritmo tiene éxito en encontrar soluciones dentro del 1% de las soluciones óptimas conocidas y se encuentra que el uso de múltiples colonias de hormigas proporciona una técnica de solución comparativamente competitiva, especialmente para problemas más grandes</p>
Bell, J & McMullen	2004	Utilizar el MACO para resolver el VRP	optimización de colonias de hormigas múltiples (MACO)	

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

El propósito del presente trabajo de investigación fue recopilar información y analizar diversos modelos de ruteo vehicular aplicados en la línea de tiempo en empresas de transporte de carga, para poder cumplir con este objetivo se han llegado a los principales resultados:

Se han establecido métodos heurísticos para el ruteo de vehículos los cuales son:

- Simulated Annealing
- Tabu Search
- Variable Neighbourhood Search
- Large Neighbourhood Search
- Greedy Randomized Adaptive Search Procedure

Algoritmos Genéticos, híbridos y modelos de búsqueda paralela y cooperativa. Con base a estos modelos, se realizó la investigación documental donde se explora a fondo las aplicaciones de estos métodos heurísticos y su impacto en el área de distribución y transporte, llegando a las siguientes conclusiones:

1. Analizar los métodos Heurísticos a modo de compararlos y encontrar posibles vías de solución al problema de ruteo.
2. Promover una investigación más profunda acerca los métodos Heurísticos y su aplicación para el mejoramiento de las rutas de entrega y transporte de vehículos.
3. Reconocer la importancia de la Heurística y sus métodos mediante la descripción de sus características relevantes.
4. Los enfoques Metaheurísticos aportan a la creación y mejora de procesos transformados en soluciones óptimas en esta problemática.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aarts, E., & Korst, J. (1988). *Simulated annealing and Boltzmann machines*.
- Aarts, E., Korst, J., & Michiels, W. (2005). Simulated annealing. *Search methodologies* , 187-210.
- Abdulkader, M. M., Gajpal, Y., & ElMekkawy, T. Y. (2015). Hybridized ant colony algorithm for the Multi Compartment Vehicle Routing Problem. *Applied Soft Computing* 37 , 196–203.
- Alba, E. (2005). *Parallel metaheuristics: a new class of algorithms. Vol. 47*. John Wiley & Sons.
- Alba, E., & Dorronsoro, B. (2004). Solving the vehicle routing problem by using cellular genetic algorithms. *European Conference on Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization* . , (págs. pp. 11-20). Berlin.
- Allahyari, S., Salari, M., & Vigo, D. (2015). A hybrid metaheuristic algorithm for the multi-depot covering tour vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research* 242.3, 756–768.
- Augerat, P., Belenguer, J. M., Benavent, E., Corbéran, A., & Naddef, D. (1998). Separating capacity constraints in the CVRP using tabu search. *European Journal of Operational Research* 106.2, 546–557.
- Bell, J. E., & McMullen, P. R. (2004). Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem. . *Advanced engineering informatics*, 18(1), 41-48.
- Berger, J. B. (2003). A hybrid genetic algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *Genetic and Evolutionary Computation*, 646–656.
- Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative Research Journal*, 9(2), 27-40.
- Bräysy, O., & Gendreau, M. (2005). Vehicle routing problem with time windows, part II: Metaheuristics. *Transportation Science*, 39(1), 119–139.
- Bullnheimer, B., Hartl, R. F., & Strauss, C. (1999). Applying the ant system to the vehicle routing problem. *Meta-Heuristics*., 285–296.
- Crainic, T., & Toulouse, M. (2010). Parallel meta-heuristics. *Handbook of meta-heuristics*., 497–541.
- Demir, E., Bektaş, T., & Laporte, G. (2012). An adaptive large neighborhood search heuristic for the pollution-routing problem. . *European Journal of Operational Research*, 223(2), 346-359.

- Dueck, G., & Scheuer, T. (1990). Threshold accepting: a general purpose optimization algorithm appearing superior to simulated annealing. *Journal of computational physics* 90.1, 161–175.
- Feo, T. A., & Resende, M. G. (1995). Greedy randomized adaptive search procedures. *Journal of global optimization* 6.2, 109–133.
- Fleszar, K., Osman, I. H., & Hindi, K. S. (2009). A variable neighbourhood search algorithm for the open vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 195(3), 803-809.
- Gambardella, L., Taillard, E., & G. Agazzi, G. (1999). Macs-vrptw: A multiple colony system for vehicle routing problems with time windows. *New ideas in optimization*.
- Gendreau, M., Laporte, G., & Potvin, J.-Y. (1997). Vehicle routing: modern heuristics. *Local search in combinatorial optimization* , 311-336.
- Glover, F. (1989). Tabu search - Part I. *ORSA Journal on computing* 1.3, 190-206.
- Glover, F., Laguna, M., Taillard, E., & De Werra, D. (1993). Tabu Search. *Annals of Operating Research*.
- Glover., F. (1986). Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. *In: Computers & operations research* 13.5, 533–549.
- Goel, A., & Gruhn, V. (2008). A general vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research* 191.3, 650–660.
- Golberg, D. E. (1989). Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. *Addion wesley*.
- Golden, B. L., Wasil, E. A., Kelly, J. P., & Chao, I. M. (1998). The impact of metaheuristics on solving the vehicle routing problem: algorithms, problem sets, and computa- tional results. *Fleet management and logistics*, 33–56.
- Hansen, P., & Mladenovic, N. (2001). Variable neighborhood search: Principles and applications. *European journal of operational research* 130.3, 449–467.
- Hjorring, C. A. (1995). *The vehicle routing problem and local search metaheuristics*.
- Holland, J. H. (1992). *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. MIT press.
- J. Xu, J., & Kelly, J. P. (1996). A network flow-based tabu search heuristic for the vehicle routing problem. *Transportation Science* 30.4, 379–393.
- Jaszkiwicz, A., & Kominek, P. (2003). Genetic local search with distance preserving recombination operator for a vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research* 151.2, 352–364.
- Kergosien, Y., Lenté, C., Piton, D., & Billaut, J. C. (2010). *A tabu search heuristic for a dynamic transportation problem of patients between care units*.

- Kirkpatrick, S., Gelatt, C., & Vecchi, M. (1983). Optimization by simulated annealing. *science*, 220(4598), 671-680.
- Kuo, Y. (2010). Using simulated annealing to minimize fuel consumption for the time-dependent vehicle routing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 59(1), 157-165.
- Kytöjoki, J., Nuortio, T., Bräysy, O., & Gendreau, M. (2007). An efficient variable neighborhood search heuristic for very large scale vehicle routing problems. *Computers & Operations Research* 34.9 , 2743–2757.
- Layeb, A., Ammi, M., & Chikhi, S. (2013). A GRASP algorithm based on new randomized heuristic for vehicle routing problem. *Journal of computing and information technology*, 21(1), 35-46.
- Marco, D., Vittorio, M., & Alberto, C. (1996). *Optimization by a colony of cooperation agents*.
- Mester, D., Bräysy, O., & W. Dullaert, W. (2007). A multi-parametric evolution strategies algorithm for vehicle routing problems. *Expert Systems with Applications* 32.2, 508–517.
- Odette. (2009). *Técnicas para la Optimización de Rutas de Transporte y Distribución*. Madrid: Services, Brain Trust Consulting.
- Olivera, A. (2004). Heurísticas para problemas de ruteo de vehículos. *Reportes Técnicos* , 04-08.
- Osman, I. H. (1993). Metastrategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem. *Annals of operations research* 41.4 , 421–451.
- Pereira, F. B., Tavares, J., Machado, P., & Costa, E. (2002). GVR: a new genetic representation for the vehicle routing problem. *. Irish Conference on Artificial Intelligence and Cognitive Science* (págs. 95-102). Berlin: Springer.
- Prins, C. (2004). A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research* 31.12, 1985–2002.
- Reeves, C. R. (1993). *Modern heuristic techniques for combinatorial problems*. . John Wiley & Sons, Inc.
- Resende, M. G., & Pardalos, P. M. (2002). *Handbook of applied optimization*. . Oxford University Press.
- Rochat, Y., & Taillard, E. D. (1995). Probabilistic diversification and intensification in local search for vehicle routing. *Journal of heuristics* 1.1 , 147–167.
- Ropke, S., & Pisinger, D. (2006). An adaptive large neighborhood search heuristic for the pickup and delivery problem with time windows. *Transportation science* 40.4, 455–472.
- Shaw, P. (1998). Using constraint programming and local search methods to solve vehicle routing problems. *Principles and Practice of Constraint Programming—*, 417–431.

- Tarantilis, C., Kiranoudis, C., & Vassiliadis, V. (2002). A backtracking adaptive threshold accepting algorithm for the vehicle routing problem. *Systems Analysis Modelling Simulation* 42.5, pp. 631–664.
- Thrun, S. B. (1992). *Efficient exploration in reinforcement learning*.
- Ting, C., & Chen, C. (2013). A multiple ant colony optimization algorithm for the capacitated location routing problem. *International Journal of Production Economics* 141.1, 34–44.
- Toth, P., & Vigo, D. (2000). *Vehicle routing: problems, methods, and applications*. . Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Toth, P., & Vigo, D. (2003). The granular tabu search and its application to the vehicle-routing problem. *Inform Journal on computing* 15.4 , 333–346.
- Van Breedam, A. (2001). Comparing descent heuristics and metaheuristics for the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research* 28., 289–315.
- Vidal, T., Crainic, T., Gendreau, M., & Prins, C. (2013). Heuristics for multi-attribute vehicle routing problems: a survey and synthesis. *European Journal of Operational Research* 231.1, 1–21.

Urkund Analysis Result

Analysed Document: extracto_2018102223425.docx (D43026368)
Submitted: 10/25/2018 1:41:00 AM
Submitted By: jparedesq@unemi.edu.ec
Significance: 1 %

Sources included in the report:

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/5384/0063823A696.pdf?sequence=1>

Instances where selected sources appear:

1



Milagro, 5 de diciembre del 2018

REGISTRO DE ACOMPAÑAMIENTOS

Inicio: 10-07-2018 Fin 15-01-2019

FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA

CARRERA: INGENIERÍA INDUSTRIAL

Línea de investigación: DISEÑO DE SISTEMAS PRODUCTIVO Y LOGÍSTICOS

TEMA: METAHEURISTICAS APLICADAS AL PROBLEMA DE RUTEO VEHICULAR (VPR). REVISIÓN DOCUMENTAL

ACOMPAÑANTE: PAREDES QUEVEDO JUAN JOSE

DATOS DEL ESTUDIANTE			
Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	CÉDULA	CARRERA
1	BARRAGAN MARTINEZ LUIS ANTONIO	0926406489	INGENIERÍA INDUSTRIAL

Nº	FECHA	HORA		Nº HORAS	DETALLE
		Inicio	Fin		
1	2018-21-08	Inicio: 10:54 a.m.	Fin: 12:54 p.m.	2	PRIMER ACERCAMIENTO PARA DEFINIR EL TEMA
2	2018-26-09	Inicio: 15:00 p.m.	Fin: 17:00 p.m.	2	PLANIFICACIÓN

PAREDES QUEVEDO JUAN JOSE
PROFESOR(A)

BUCHELI CARPIO LUIS ANGEL
DIRECTOR(A)

BARRAGAN MARTINEZ LUIS ANTONIO
ESTUDIANTE

Dirección: Cda. Universitaria Km. 1 1/2 vía km. 26
Conmutador: (04) 2715081 - 2715079 Ext. 3107
Telefax: (04) 2715187
Milagro • Guayas • Ecuador

VISIÓN
Ser una universidad de docencia e investigación.

MISIÓN
La UNEMI forma profesionales competentes con actitud proactiva y valores éticos, desarrolla investigación relevante y oferta servicios que demanda el sector externo, contribuyendo al desarrollo de la sociedad.

