

Desarrollo de un algoritmo heurístico para la resolución de una problemática TTRPTW en un dominio real.

Ing. Luis Cisneros, Dra. Julia Sánchez, Dr. Francisco López y Dr. Jorge Rodas-Osollo

Resumen— El problema de enrutamiento del trailer y su remolque (TTRP, por sus siglas en ingles) es un problema de optimización similar al problema de enrutamiento vehicular (VRP, por sus siglas en ingles). La diferencia que existe entre estos dos problemas recae en que en el TTRP no se puede acceder directamente a los clientes debido a limitaciones físicas. Esta limitante provoca que se tenga que usar bahías de carga y descarga para trasladar la mercancía a un medio de transporte que pueda acceder a los clientes. Dicha problemática se presenta en el centro histórico de Querétaro. El instituto mexicano del transporte (IMT) se ha dado a la tarea de optimizar el proceso de creación de rutas por parte de múltiples empresas con clientes en dicha área. Para lograr esto se propone un algoritmo heurístico de tres fases.

Palabras clave— Agrupamiento de clientes, Algoritmo Dijkstra, Algoritmo murciélago, Bahías con capacidad, Duración limitada, Flota heterogénea, Múltiples empresas, IMT, Ventanas de tiempo.

1 INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente se han clasificado las técnicas de optimización en métodos exactos y métodos heurísticos. Los métodos exactos tienen como meta encontrar la solución óptima del problema a optimizar. Sin embargo, estos tipos de enfoques resultan ser demasiado costosos en tiempo computacional cuando el espacio de búsqueda de la solución es grande. Es decir, el tiempo de resolución para dichos casos resulta ser demasiado. Es por este motivo que el uso de heurísticas es más conveniente para encontrar una solución de cierta calidad dentro de un lapso de tiempo razonable. Las heurísticas suelen utilizar técnicas de inteligencia artificial en su totalidad o en parte para explorar de manera más eficiente el espacio de soluciones. A diferencia de los métodos exactos, las heurísticas no garantizan encontrar la solución óptima. No obstante, si se usan adecuadamente pueden ofrecer soluciones de buena calidad en un lapso de tiempo considerablemente menor que los métodos exactos [1].

2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el centro histórico de la ciudad de Querétaro, existen diversos comercios que no pueden ser accesados directamente por distintos proveedores. Para surtir a estos comercios, los proveedores se ven forzados a utilizar bahías de carga y descarga ubicadas en distintos puntos del centro histórico de la ciudad con el fin de trasladar la mercancía a un medio de transporte capaz de acceder al cliente. Cabe destacar que dichas bahías son compartidas por todos los proveedores.

La gran cantidad de comercios presentes en el centro histórico, más de ciento cincuenta, dificulta mucho a los

proveedores el definir rutas de surtido eficientes. El Instituto Mexicano del Transporte (IMT) se ha dado a la tarea de mejorar las rutas determinadas por los proveedores para surtir mercancías a sus clientes. Para realizar esta mejora se deben tomar en cuenta las siguientes restricciones presentes en el dominio de aplicación:

- El uso compartido de las bahías por varios tráileres.
- El horario en el que se puede surtir a un comercio en específico. Dicho horario puede variar de un comercio a otro.
- La naturaleza heterogénea de la flota de vehículos.
- Un límite de tiempo en la duración de las rutas de abastecimiento.

Formalmente a esta problemática se le denomina *problema de enrutamiento de camión y tráiler* (Truck and Trailer Routing Problem, TTRP), y debido a su complejidad combinatoria requiere de una solución heurística capaz de obtener una solución óptima teniendo en cuenta las limitaciones que se presentan. En la literatura especializada, la mayoría de los trabajos de TTRP giran en torno a datos ficticios, por ejemplo, [2] [3] [4] [5] [6]. Además de que no se ha modelado el TTRP teniendo en cuenta todas las restricciones que se presentan en este dominio real. Por otra parte, algunas de estas restricciones no se han manejado anteriormente en la literatura. Por ejemplo, la participación de múltiples empresas, el manejo de una capacidad máxima en el uso de las bahías y algunas restricciones en la circulación de los vehículos. Se ha identificado a la problemática presente en el dominio como *problema de enrutamiento de camión y tráiler con ventanas de tiempo* (Truck and Trailer Routing Problem

with Time Windows, TTRPTW).

3 OBJETIVOS

3.1 General

Desarrollar un algoritmo heurístico capaz de resolver la problemática TTRP que se presenta en el centro histórico de Querétaro.

3.2 Específicos

- Modelar el problema TTRP de manera que refleje las limitaciones presentes en el dominio.
- Evaluar los resultados del algoritmo.

4 JUSTIFICACIÓN

La resolución de esta problemática resultará en un beneficio económico importante para las empresas proveedoras derivado de un menor gasto de combustible, reducción en las horas laborales necesarias para el servicio a clientes, extensión del tiempo de vida útil del transporte y la posibilidad de atender a un mayor número de clientes. Además, los establecimientos ubicados en la zona centro de la ciudad se verán beneficiados con un sistema de entrega de mercancía más ágil.

Asimismo, la resolución de una problemática del TTRPTW sobre un caso real con múltiples restricciones, algunas de ellas nuevas, representa un aporte significativo a la literatura especializada.

Para la resolución exitosa de esta problemática se está trabajando en conjunto con el IMT en el desarrollo de este proyecto. Así mismo, existe un segundo proyecto de maestría donde se aborda la misma problemática. Esto con el fin de que se realice una investigación más profunda de la literatura. Así como de ampliar el marco de implementación y experimentación de soluciones para la obtención de rutas de abastecimiento factibles.

5 METODOLOGÍA

En esta sección se describe la metodología de solución que seguirá el algoritmo para resolver el esquema de TTRPTW y la metodología de desarrollo para dicho algoritmo.

5.1 Metodología de solución.

Para resolver la problemática TTRPTW que se presenta en este dominio, se utilizará un algoritmo de tres fases de procesamiento. La división del problema en fases acelerará la búsqueda de una solución de calidad. Se planea dividir el problema en las tres fases siguientes: 1) agrupación de clientes, 2) construcción de rutas iniciales, y 3) mejora de las rutas iniciales.

La fase 1 consiste en vincular varios clientes con una bahía, y se hace para facilitar el proceso de generación de rutas. Gracias a esta agrupación, se eliminan los casos donde un cliente puede ser accedido por dos o más bahías.

Durante la fase de construcción se generarán rutas de abastecimiento óptimas para cada empresa. Se ha optado por utilizar un enfoque basado en caminos. Dicho enfoque

concluye que provee mejores soluciones que un modelo basado en arcos. Algunos ejemplos de trabajos que utilizan dicho enfoque son [5] [8]. Para la obtención de las rutas se ha optado por la implementación de un algoritmo Dijkstra por sus resultados en [9]. Dado que dicho algoritmo es un método exacto, es necesario aplicarlo en un grafo reducido. De esta manera se reduce la cantidad de rutas posibles, permitiendo la obtención de rutas de abastecimiento en un tiempo razonable.

Finalmente, en la fase de mejora se buscará un arreglo de rutas que respete la capacidad máxima de las bahías mediante un algoritmo murciélago. Dicho algoritmo fue escogido por sus resultados en [6]. Durante esta fase es posible utilizar alternativamente el algoritmo Dijkstra para garantizar la optimalidad de las rutas. El algoritmo de Dijkstra se utilizaría en caso de que las rutas generadas para una empresa en el paso anterior no puedan ser aplicadas sin exceder la capacidad de una o más bahías. De esta manera, se buscaría un nuevo conjunto de rutas que utilicen una serie distinta de bahías. El resultado será un conjunto de rutas eficientes para cada empresa teniendo en cuenta el uso en común de las bahías.

Esta metodología divide las distintas restricciones, simplificando la búsqueda de una solución satisfactoria y abre la posibilidad de implementar distintas mejoras en cada fase.

5.2 Metodología de desarrollo.

Para la resolución de la problemática abordada en este proyecto se propone una metodología de experimentación de tres etapas. Donde, a lo largo del proyecto se implementarán diferentes técnicas para el mejoramiento de cada fase de procesamiento. Esto con el objetivo de llegar a soluciones de mayor calidad que representen un mayor beneficio para los proveedores y comercios de la ciudad de Querétaro. Así mismo, es posible que se experimente con la implementación de distintas heurísticas y algoritmos en alguna de las fases de procesamiento.

Durante la primera etapa se realizará un análisis de la literatura especializada, así como de distintas metodologías de solución. Seguido de esto se construirá un modelo conceptual del dominio de aplicación.

La segunda etapa constará del desarrollo de los algoritmos correspondientes a cada etapa. Es posible que una vez realizados los experimentos sobre la solución resultante se regrese a esta etapa para el desarrollo de algoritmos distintos a implementar.

Finalmente, la tercera etapa constará de la experimentación. En esta etapa se calificarán los resultados del algoritmo, así como la inclusión de distintas técnicas para el mejoramiento de éste. El resultado final será un algoritmo que combine distintas técnicas en una optimización por fases para la optimización de rutas de abastecimiento.

6 IMPACTO

Actualmente, las empresas proveedoras de artículos no cuentan con una metodología para la definición de rutas

transportan la mercancía, los cuales utilizan su conocimiento empírico para determinar la ruta. La reducción de la longitud total de las rutas de abastecimiento implica un menor gasto de combustible. Esto, a su vez, implica una reducción en las emisiones de CO₂, reduciendo el impacto ambiental.

paths in a time-window network," *Computers & Operations Research*, vol. 31, pp. 499-513, 2004.

7 ALCANCES Y LIMITACIONES

- El proyecto está limitado a un grupo de cuatro empresas con clientes presentes en el centro histórico de Querétaro.
- El esquema de TTRP está limitado al área del centro histórico de la ciudad de Querétaro.
- La duración de la ruta está limitada por el horario laboral.

8 REFERENCIAS

- [1] V. Y. Piqueras, "¿Qué son las metaheurísticas?," Universidad Politecnica de Valencia, 22 Febrero 2015. [Online]. Available: <http://optimizacionheuristica.blogs.upv.es/2015/02/22/que-son-las-metaheuristicas/>. [Accessed Octubre 2018].
- [2] Z. Bian, "2016 International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences (LISS)," in *A Hybrid Algorithm for the Truck-and-Trailer Routing Problem with Time Windows*, Beijing, 2016.
- [3] I. S. Grechikhin, "Heuristic with element of tabu search for Truck and Trailer Routing Problem," Cornell university Library, 2016.
- [4] S. Mirmohammadsadeghi and S. Ahmed, "Metaheuristic Approaches for Solving Truck and Trailer Routing Problems with Stochastic Demands: A Case Study in Dairy Industry," *Mathematical Problems in Engineering*, p. 14, 2014.
- [5] S. N. Parragh and J.-F. Cordeu, "Branch-and-price and adaptive large neighborhood search for the truck and trailer routing problem with time windows," *Computers and Operations Research*, pp. 28-44, 2017.
- [6] C. Wang, S. Zhou, C. Liu and Y. Gao, "A self-adaptive algorithm for the truck and trailer routing problem," *Engineering Computations*, vol. 35, no. 1, pp. 108-135, 2017.
- [7] B. Gendron and F. Semet, "Formulations and relaxations for a multi-echelon capacitated location-distribution problem," *Computers & Operations Research*, vol. 36, pp. 1335-1355, 2009.
- [8] A.-K. Rothenbacher, M. Drexler and S. Irnich, "Branch-and-Price-and-Cut for the Truck-and-Trailer Routing Problem with Time Windows," *Transportation Science*, pp. 1-17, 2018.
- [9] Y.-L. Chen and H.-H. Yan, "Finding the first K shortest