Articulo Original

Sistematización de la literatura sobre los problemas de ruteo de vehículos multiobjetivo / Sytematic literature review of the multiobjective vehicle routing problems

Manuel Enrique Coloma-Salazar[1] mcoloma@uho.edu.cu, https://orcid.org/0000-0003-0451-1265, José Arzola-Ruiz[2] https://orcid.org/0000-0002-4101-878X, Clara Elena Marrero-Fornaris[1] https://orcid.org/0000-0001-9417-7234

Institución de los autores

[1] Universidad de Holguín. Cuba.

[2] Universidad Tecnológica de la Habana. Cuba.

Este documento posee una licencia Creative Commons Reconocimiento - No Comercial 4.0 Internacional

Resumen

La optimización de las rutas de vehículos en los sistemas de transporte es un problema complejo que busca soluciones óptimas comprometidas entre múltiples objetivos económicos, espaciales, temporales y ambientales. A pesar del creciente interés científico en el tema, existe una falta de sistematización y análisis de tendencias en la literatura especializada. Para abordar esta carencia, se realiza la investigación, la cual está basada en un estudio bibliométrico y meta-análisis. El trabajo destaca los desafíos significativos que enfrentan los sistemas de transporte en la optimización de rutas de vehículos en un enfoque multiobjetivo. Se evidencia la falta de una sistematización exhaustiva en la literatura científica en sobre este campo. La investigación contribuye a cerrar la brecha y proporcionar información sobre el estado actual y las proyecciones futuras del transporte multiobjetivo. Además, resalta la relevancia práctica del problema y su impacto en la toma de decisiones logísticas en la vida cotidiana.

Palabras clave: Ruteo de vehículo, Multiobjetivo, Problema de transportación, Sistematización de la literatura, Algoritmos evolutivos

Abstract

The optimization of vehicle routes in transportation systems is a complex problem that seeks compromised optimal solutions among multiple economic, spatial, temporal, and environmental objectives. Despite the growing scientific interest in the subject, there is a lack of systematization and trend analysis in the specialized literature. To address this deficiency,

research is carried out, which is based on a bibliometric study and meta-analysis. The work highlights the significant challenges transportation systems face in optimizing vehicle routes in a multi-objective approach. The lack of an exhaustive systematization in the scientific literature on this field is evident. The research contributes to closing the gap and providing information on the current status and future projections of multi-purpose transport. In addition, it highlights the practical relevance of the problem and its impact on logistics decision-making in everyday life.

Keywords: Vehicle routing, Multi-objective, Transportation problem, Literature systematization, Evolutionary algorithms

Introducción

Los avances en los últimos dos siglos han ubicado a los sistemas de transporte (En la investigación se utiliza el término “transporte”, “ruteo de vehículos” y “proceso de distribución” sin distinciones), en uno de los retos a dirigir. Por un lado, los sectores públicos y de los negocios se enfrenta al desafío de optimizar las rutas de vehículos para satisfacer diversos objetivos o preferencias, al tiempo que se busca la eficiencia y eficacia. Por otro, el interés de la comunidad científica es incremental y se orienta a modelar y dar solución al problema de ruteo de vehículos que radica en el corazón de la Optimización Combinatoria. De forma general, el ruteo de vehículos se define como el problema de transporte de determinar el conjunto de rutas factibles desde un depósito a un conjunto de clientes dispersos geográficamente, sujeto a restricciones.

En su conjunto, ambos intereses confluyen en el Problema de Ruteo de Vehículos Multiobjetivo *(Multiobjective Vehicle Routing Problem, MoVRP)*, que deviene del clásico Problema de Ruteo de Vehículos *(Vehicle Routing Problem, VRP)* propuesto por Dantzig y Ramser (1959). Este enfoque aborda la complejidad inherente en estos problemas de decisión al considerar simultáneamente múltiples objetivos. Dichos objetivos abarcan una variedad de factores en los que se entrelaza la toma de decisiones logísticas, desde el punto de vista económico, espacial, temporal y ambiental (Coloma Salazar *et al.*, 2021). El concepto subyacente detrás de esta corriente de investigación es buscar soluciones óptimas que logren un compromiso entre diferentes criterios, en un espacio factible acotado por un sistema de restricciones y condiciones específicas.

No obstante, el tratamiento del rutero de vehículos multiobjetivo no ha sido suficientemente abordado en estudios de sistematización de la literatura, donde se recojan tendencias, patrones, convergencias y proyecciones de la temática. La investigación se dirige a responder dicha carencia y propone llevar a cabo una sistematización de la literatura sobre los MoVRP,

basado en un estudio bibliométrico y meta-análisis. Las preguntas científicas fundamentales que guían el estudio:

1. ¿Dónde se ubica el núcleo teórico en la ciencia a partir de la citación y cocitación de registros consultados?
2. ¿Cuáles son los objetivos primarios y las condiciones consideradas en los problemas de ruteo de vehículos multiobjetivo?
3. ¿Cuáles son las técnicas y metodologías más empleadas en la resolución de estos problemas?
4. ¿Cuáles son los desafíos actuales y las áreas de oportunidad para avanzar en los sistemas de transporte modernos?

Los resultados de la investigación contribuyen a la comunidad académica y científica involucrada en la optimización de los sistemas de transporte, y a profesionales de la industria, decisores y organizaciones que buscan mejorar la eficiencia y efectividad de sus operaciones de transporte.

Materiales y métodos

De acuerdo al insuficiente tratamiento de los MoVRP se realiza una sistematización de la literatura especializada la cual está estructurada en un análisis bibliométrico y del contenido. Se escogen *Scopus* y *Web of Science*, las cuales son consideradas las bases de datos académicas más importantes utilizadas en este tipo de estudios. Además, se utiliza la metodología PRISMA (Moher *et al.*, 2009) la cual establece los pasos que determinan el flujo de información en la revisión sistemática de la literatura especializada. De forma general, la metodología establece las etapas de: (1) identificación de los registros (artículos, libros, secciones de libros, artículos de conferencias, eventos…); (2) inspección de los registros; (3) elegibilidad de los registros; y, (4) inclusión de registros en síntesis cualitativa y cuantitativa (meta-análisis).

Dado que el MoVRP consiste en la optimización simultánea de varios objetivos que se encuentran en conflicto se escogen las palabras clave: *“vehicle routing”* AND (*“multiple objectives”* OR *“multiobjective”* OR *“multi objective”* OR *“multi-objective”* OR *“biobjective”* OR *“bi objective”* OR *“bi-objective”* OR *“multicriteria”* OR *“multi criteria”* OR *“multi-criteria”*), en los campos: *“Título, resumen y palabras clave”*. Se eligen los artículos de revistas en todos los idiomas, donde el inglés es el más representativo.

Se fija como período de consulta de la literatura especializada desde la génesis del campo de estudio hasta el 06 de junio de 2023, y se utilizó la intersección de las palabras clave seleccionadas donde, luego de eliminar registros duplicados, se precisaron 715 entradas o

artículos. A partir de la presencia de las palabras clave en los campos seleccionados, se analiza si los artículos se relacionan con el enfoque o intención de la investigación, orientada al proceso de distribución de mercancías.

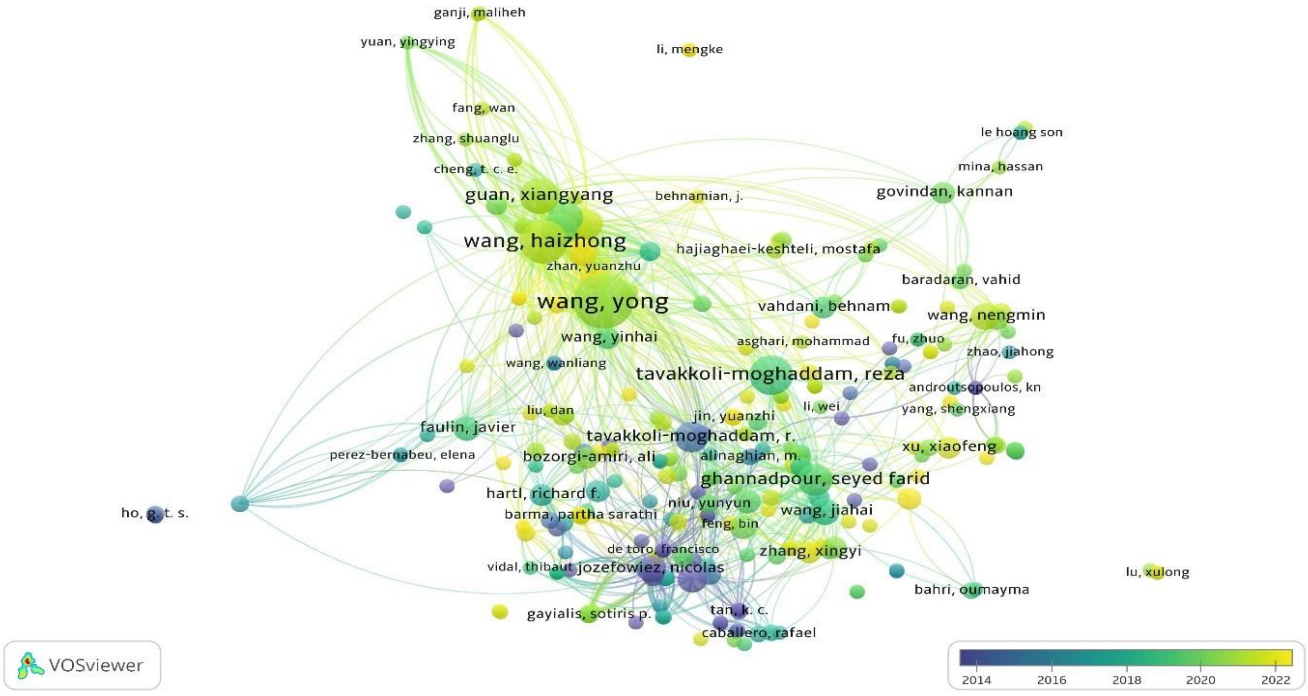
Resultados

El análisis del número total de artículos encontrados en las bases de datos evidencia el creciente interés por la comunidad científica en la temática. Los primeros estudios sobre MoVRP lo presentan (Park & Koelling, 1986; Min, 1991) en las revistas *Engineering Costs and Production Economics* y *Socio-Economic Planning Sciences*. Los artículos fueron publicados en 234 revistas y las principales, de acuerdo a la cantidad de publicaciones, fueron: *Computers and Industrial Engineering (39); Expert Systems with Applications (36); European Journal of Operational Research (28); Computers & Operations Research (24); y, Journal of Cleaner Production (20).* Cinco revistas acumulan el 20.56% del total de las investigaciones. Los artículos representan varias áreas del conocimiento: Ingeniería; Ciencias de la Computación; Investigación de Operaciones; Economía de Negocios; Transportación; Matemática; Ciencias Ambientales y Ecología; Ciencias de la Tecnología; Sistemas de Control Automático; y, Telecomunicaciones.

La nacionalidad de los investigadores es dispersa, diversa y los más representativos pertenecen a la República Popular de China, Irán, Estados Unidos de América, Francia y España. Las organizaciones más activas en la publicación de los resultados investigativos en MoVRP fueron: *University of Tehran* (Irán); *Islamic Azad University* (Irán); *Chongqing Jiaotong University* (República Popular de China); *Oregon State University* (Estados Unidos de América); y, *Iran University of Science and Technology* (Irán). Se evidencia que los MoVRP se insertan en el modelo del profesional y modo de actuación del Ingeniero Industrial desde diversas áreas del conocimiento. Los principales autores de acuerdo a la productividad y actualidad se muestran en la **Figura 1**.

Figura 1

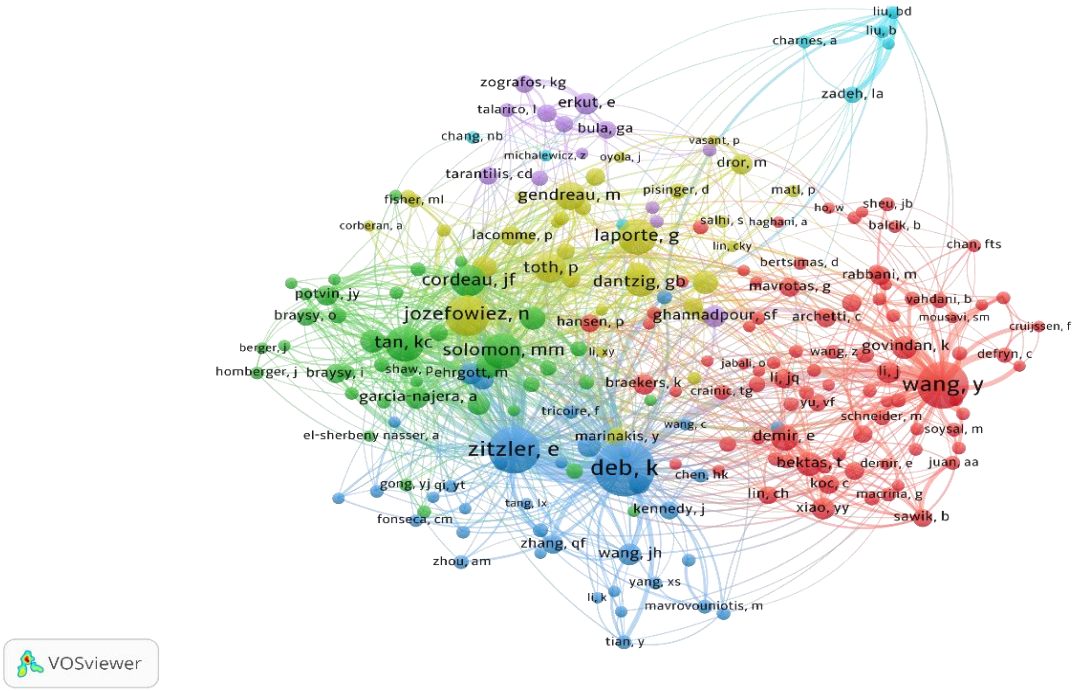
Análisis de citación de autores por período (VOSviewer 1.6.19)



El análisis de cocitación de autores expone que los MoVRP se analizan principalmente desde tres perspectivas estrechamente vinculadas: modelación matemática de diversos objetivos y restricciones; los algoritmos de solución *ad hoc*; y, los métodos exactos y de la optimización mutliobjetivo agregativos y evolutivos. Los principales autores se muestran en la **Figura 2** de acuerdo a su productividad en varios clústeres que representan las relaciones de citación de cada uno de dichos artículos. La asignación de colores radica en la coincidencia de los autores citados en el mismo artículo.

Figura 2

Análisis de cocitación de autores (VOSviewer 1.6.19)



La modelación y los objetivos a optimizar en los MoVRP

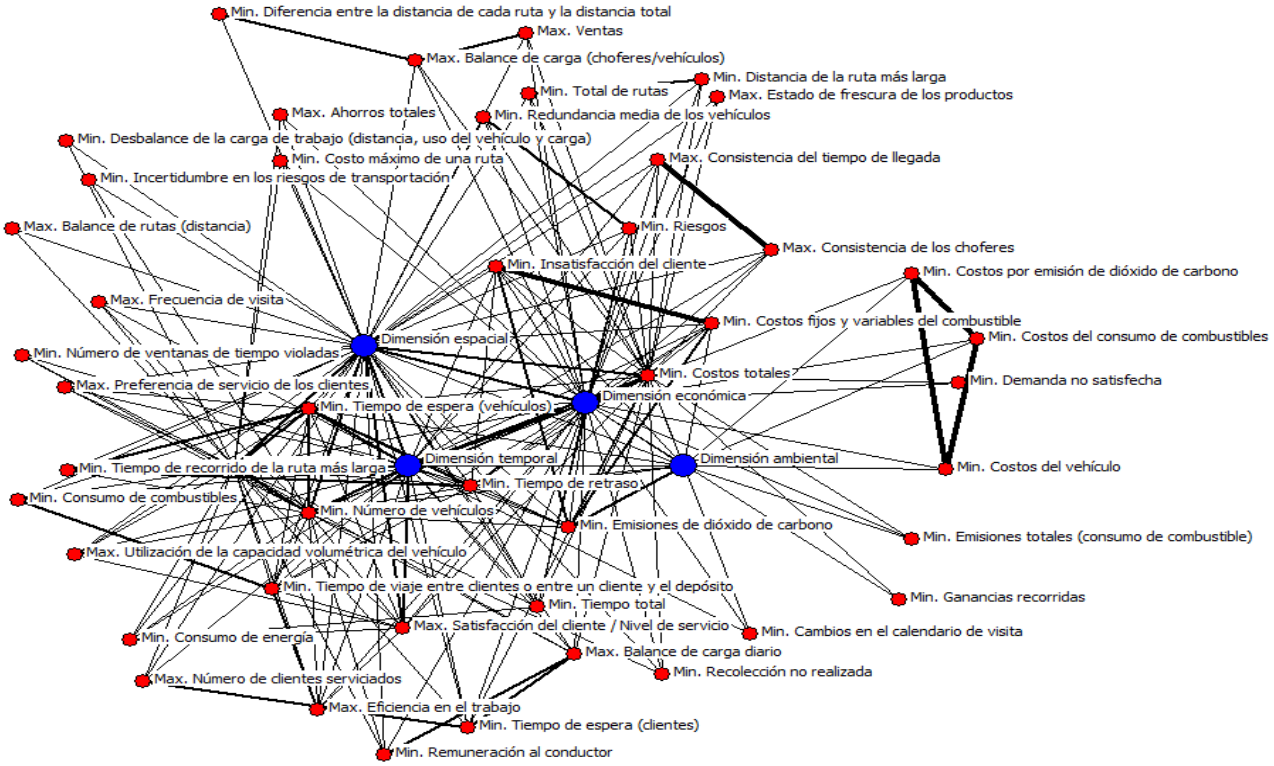
En la modelación matemática, los autores precisan una serie de objetivos a optimizar, que se encuentran recogidos en dimensiones económica, espacial, temporal y ambiental **(Figura 3)**. Desde el punto de vista económico se analizan los costos totales, remuneración del conductor, ganancias recogidas, ventas, ahorros totales, costo del vehículo, costo máximo de la ruta, entre otros. La dimensión espacial comprende la distancia recorrida, el número de vehículos, el balance/desbalance en las rutas, clientes serviciados, aprovechamiento de la capacidad del vehículo, recogidas realizadas, demanda satisfecha, riesgos de la transportación y otros. Mientras, en la dimensión temporal se analizan la satisfacción del cliente / nivel de servicio, tiempos totales, tiempos de espera de los clientes y/o de los vehículos, frecuencia de las visitas, etc.

Por último, se analizan los aspectos ambientales de los VRP, aunque esta dimensión es la que menos desagregación presenta en la literatura consultada y se muestra solamente el indicador/objetivo emisiones totales. En estos casos, aunque se utiliza la emisión de CO_2, existen otros gases emitidos por la combustión de combustibles que se pueden convertir en CO_2-equivalente. Aunque estos autores precisan varios objetivos de optimización, no se

encuentra la optimización simultánea de objetivos generales, que puedan catalogarse como dimensiones, que comprendan el amplio espectro de la toma de decisiones logísticas.

Figura 3

Red social de la correlación entre objetivos (UCINET 6.721)



En las publicaciones sobre MoVRP se recogen los objetivos que usualmente optimizan en la teoría, lo que contribuye a una aproximación teórica del sistema de preferencias de los decisores en el ámbito de los MoVRP. Dichos autores manifiestan criterios que tienen una connotación dimensional, y que de por sí son indicadores de operacionalización de cada dimensión. Entonces se muestra que las dimensiones económica, temporal, espacial y ambiental presentan un alto grado de centralidad normalizada comparado con los restantes términos analizados. Presentan menor centralización global de cercanía con la red, mayor centralización global de la cercanía armónica y mayor robustez en los valores del *eigenvector*, como medidas de centralidad.

Por otra parte, se analizan las restricciones que comprende el sistema, donde se le presta especial atención al MoVRP simétrico, lo cual en algunos casos es factible si no se tiene en cuenta condiciones de tráfico y señalización, o las condiciones de aplicación lo permiten. Además, la mayoría trabajan el caso determinístico donde se conoce o se tiene certeza del

comportamiento de las variables. En contextos donde las variables siguen una distribución de probabilidad se utiliza el enfoque estocástico.

Igualmente, los estudios sobre MoVRP con flota homogénea son los más numerosos, aunque limitan el ámbito de aplicación. Sin embargo, algunas investigaciones consideran los distintos atributos que diferencian a los vehículos (capacidad, costos fijos y variables, índices de consumo, entre otros). Asimismo, se aborda el uso de múltiples depósitos desde donde los vehículos pueden partir, retornar y reabastecerse. Además, en los últimos años se introducen referencias a la huella de carbono, las emisiones y la contaminación ambiental (Amiri *et al.*, 2023).

Métodos de solución de los MoVRP

Además de las restricciones que presenta el sistema se encuentran las estrategias de solución que utilizan para resolver estos problemas complejos y se evalúan en diversos casos de estudios y/o *bechmarks*. Dentro de los enfoques exactos resalta el análisis mediante la programación entera, que busca encontrar soluciones óptimas mediante modelos matemáticos precisos. Sin embargo, se observa que estos enfoques pueden ser computacionalmente costosos y presentar limitaciones en la resolución de problemas de gran escala.

Por otro lado, se identificaron enfoques basados en computación evolutiva que han demostrado ser efectivos en la resolución de los MoVRP. Estos métodos se inspiran en la evolución biológica y buscan encontrar soluciones mediante la generación iterativa de poblaciones y la aplicación de operadores genéticos. En particular, se destacaron algoritmos genéticos (Y. Wang *et al.*, 2023), algoritmos evolutivos (C. Wang *et al.*, 2023) y enjambre de partículas (Kuo *et al.*, 2023). Estos enfoques han sido ampliamente utilizados en la literatura y han mostrado resultados prometedores en términos de calidad de las soluciones obtenidas.

Además, se encontraron enfoques híbridos que combinan algoritmos multiobjetivo y heurísticos para aprovechar las fortalezas de ambos métodos. Por ejemplo, en algunos artículos se destaca la combinación de la lógica difusa y algoritmos metaheurísticos. La lógica difusa permite modelar y representar la incertidumbre y vaguedad presentes en las restricciones y objetivos de los MoVRP, mientras que los algoritmos metaheurísticos se encargan de la búsqueda y generación de soluciones eficientes.

En términos de evaluación y comparación de resultados, se observó que se utilizan diversos casos de estudio y *benchmarks* en la literatura. Entre los más destacados se encuentra el *benchmark* de Solomon para problemas de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo. Por otro lado, se comparan con algoritmos conocidos de la optimización multiobjetivo

(principalmente de la optimización evolutiva) para analizar indicadores de diversidad, uniformidad y convergencia. Estos casos de estudio y *benchmarks* permiten evaluar la calidad de las soluciones generadas por los diferentes métodos y algoritmos, así como comparar su eficiencia computacional en diferentes escenarios.

En cuanto a las tendencias recientes, se observó un aumento significativo en la investigación y desarrollo de métodos para los MoVRP. En los últimos años, se han introducido varios enfoques novedosos y adaptaciones de métodos clásicos. Por ejemplo, se propusieron algoritmos evolutivos multiobjetivo cuánticos (Liu *et al.*, 2018), algoritmos genéticos mejorados (Li *et al.*, 2020) y búsqueda local iterativa multiobjetivo (Wei *et al.*, 2023). Estos avances demuestran el creciente interés en el campo y la búsqueda de soluciones más eficientes y efectivas.

De la misma manera, se ha observado un enfoque creciente hacia el uso de métodos como algoritmos meméticos basados en búsqueda local iterativa (Zhang *et al.*, 2022), algoritmos de colonia de hormigas híbridos (Wu *et al.*, 2022) y algoritmos de búsqueda local mejorados (Feng & Wei, 2023). Dichos enfoques ofrecen opciones adicionales para abordar los desafíos de los MoVRP y muestran la diversidad de métodos disponibles en la literatura.

Sin embargo, a pesar de la diversidad y cantidad de métodos de solución existentes, se concluye que no existe un proceder general para abordar los problemas de ruteo de vehículos multiobjetivo. Cada problema requiere un enfoque personalizado que se adapte a sus características específicas, y la calidad de la solución obtenida está estrechamente relacionada con la adecuada modelación del problema y la participación activa del decisor en el proceso de obtención de soluciones.

En resumen, el análisis de los métodos y algoritmos utilizados para resolver los problemas de ruteo de vehículos multiobjetivo destaca la diversidad de enfoques existentes, desde la programación entera hasta los algoritmos evolutivos y las técnicas híbridas. Se distingue un progreso significativo en el campo, con la introducción de nuevos métodos y mejoras de los existentes. Sin embargo, se requiere una atención continua para abordar los desafíos computacionales y la optimización de múltiples objetivos en los MoVRP. La investigación futura podría enfocarse en la mejora de los métodos existentes, la exploración de nuevas técnicas y la aplicación de enfoques híbridos para obtener soluciones más eficientes y efectivas en los problemas de ruteo de vehículos multiobjetivo.

Los retos de los sistemas de transporte y la optimización

Los retos del ruteo de vehículos multiobjetivo representan un desafío adicional para los sistemas de transporte. En este contexto, se busca encontrar la mejor combinación de rutas y asignación de recursos que optimicen múltiples objetivos, como la minimización de costos, la maximización de la eficiencia o la reducción de emisiones. Sin embargo, la integración de los sistemas de preferencias de los decisores en los modelos matemáticos y estrategias de solución de los problemas de ruteo aún representa un desafío. Existe una contradicción entre los modelos teóricos y prácticos, ya que no se tienen en cuenta los criterios de los decisores a la hora de seleccionar la solución que les satisfaga.

El sistema de preferencias de los decisores es crucial en el proceso de toma de decisiones logísticas en la distribución de mercancías. El sistema abarca dimensiones económicas, espaciales, temporales y ambientales, donde se refleja el nivel de orientación hacia una determinada solución o acción y se tienen en cuenta factores esenciales del proceso logístico. No obstante, lograr la satisfacción completa en la optimización es complejo, ya que implica el compromiso de objetivos y preferencias en conflicto. Cada decisor tiene su propio sistema de preferencias, lo que requiere lograr un consenso cuando se trata de satisfacer a un grupo de sistemas de preferencias.

Las limitaciones actuales en la modelación y solución de los problemas de ruteo de vehículos también plantean retos. Incluyen la incapacidad de manejar características específicas del problema, como flotas heterogéneas, restricciones de compartimentos, ventanas de tiempo para las entregas, prioridades de los decisores y compatibilidades entre puntos de entrega. Para superar las limitaciones, es necesario integrar la modelación matemática con esquemas de solución híbridos, que permitan abordar de manera más efectiva los desafíos asociados con la complejidad y la heterogeneidad de los problemas de ruteo de vehículos.

De igual forma, los sistemas actuales de transporte requieren soluciones eficientes y sostenibles. Uno de los principales retos es la congestión del tráfico, especialmente en las áreas urbanas. El crecimiento de la población y el aumento del número de vehículos en circulación han llevado a una mayor congestión, lo que resulta en retrasos, tiempos de viaje más largos y mayores costos de operación. Para enfrentar este desafío, se requieren inversiones en infraestructuras inteligentes, como sistemas de gestión de tráfico y transporte público eficiente.

Otro reto importante es la contaminación ambiental causada por los medios de transporte tradicionales, como los automóviles de combustión interna. Las emisiones de gases de efecto

invernadero y contaminantes locales tienen un impacto significativo en la calidad del aire y contribuyen al cambio climático. Los sistemas de transporte necesitan evolucionar hacia alternativas más sostenibles, como vehículos eléctricos y el fomento del uso del transporte público, para reducir la huella de carbono y mejorar la calidad del aire en las ciudades.

Además, la seguridad vial es un problema crucial que enfrentan los sistemas de transporte. Los accidentes de tráfico causan pérdidas humanas y económicas significativas. Los empresarios deben tomar decisiones para mejorar la seguridad vial, como implementar tecnologías avanzadas de asistencia al conductor, promover la educación vial y garantizar el cumplimiento de las normas de tránsito. Dichas decisiones pueden implicar inversiones significativas en tecnología y capacitación, pero son fundamentales para garantizar un transporte más seguro.

La planificación y gestión del transporte se considera importante para los empresarios. Tomar decisiones estratégicas sobre la expansión de rutas, la asignación de recursos y la optimización de la cadena de suministro son aspectos críticos para garantizar una operación eficiente y rentable. La implementación de tecnologías de información y comunicación, como sistemas de gestión de flotas y análisis de datos, puede ayudar a los empresarios a tomar decisiones informadas y optimizar sus operaciones de transporte.

Por último, el avance de la tecnología y la aparición de nuevos modelos de negocio, como la economía colaborativa y los servicios de transporte compartido, presentan retos y oportunidades para los empresarios del sector del transporte. La adopción de estas nuevas formas de movilidad requiere adaptación y flexibilidad, así como la capacidad de anticipar y satisfacer las demandas cambiantes de los consumidores.

Conclusiones

Los sistemas de transporte se enfrentan a desafíos significativos en la optimización de las rutas de vehículos, tanto desde la perspectiva del sector público como del sector empresarial. En este contexto, el MoVRP ha surgido como un enfoque innovador que aborda la complejidad de los problemas de decisión al considerar múltiples objetivos y preferencias.

La literatura científica sobre el transporte multiobjetivo no ha abordado suficientemente la sistematización y el análisis de tendencias y patrones en los MoVRP, lo que plantea una carencia y una oportunidad de investigación. El trabajo da respuesta a las carencias detectadas en la literatura especializada, y contribuye a reconocer el problema y a evidenciar su importancia.

El MoVRP busca soluciones óptimas que logren un compromiso entre diferentes criterios y/o objetivos en conflicto. También considera aspectos económicos, espaciales, temporales y ambientales cuya operacionalización se materializa en indicadores de transportación. En la investigación se recogen resultados que ubican al transporte multiobjetivo como objeto de estudio de la ciencia, con sus patrones, tendencias y futuras proyecciones de desarrollo. Se demuestra, además, que existe un desenlace en lo abordado en la teoría y las necesidades prácticas de los decisores que enfrentan tareas cotidianas de transporte y distribución óptima de mercancías.

Referencias Bibliográficas

Amiri, A., Amin, S. H., & Zolfagharinia, H. (2023). A bi-objective green vehicle routing problem with a mixed fleet of conventional and electric trucks: Considering charging power and density of stations. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*, *213*, Article 119228. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.119228

Coloma Salazar, M. E., Arzola Ruiz, J., & Marrero Fornaris, C. E. (2021). La gestión de la distribución y la planificación de rutas en el sector empresarial cubano. *Revista Universidad y Sociedad*, *14*(5), 357-368.

Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, *6*(1), 80-91. https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80

Feng, B., & Wei, L. X. (2023). An improved multi-directional local search algorithm for vehicle routing problem with time windows and route balance. *APPLIED INTELLIGENCE*, *53*(10), 11786-11798. https://doi.org/10.1007/s10489-022-04061-7

Kuo, R. J., Luthfiansyah, M. F., Masruroh, N. A., & Zulvia, F. E. (2023). Application of improved multi-objective particle swarm optimization algorithm to solve disruption for the two-stage vehicle routing problem with time windows. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*, *225*, Article 120009. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120009

Li, J. Y., Hu, X., & Wan, Z. (2020). AN INTEGRATED BI-OBJECTIVE OPTIMIZATION MODEL AND IMPROVED GENETIC ALGORITHM FOR VEHICLE ROUTING PROBLEMS WITH TEMPORAL AND SPATIAL CONSTRAINTS. *JOURNAL OF INDUSTRIAL AND MANAGEMENT OPTIMIZATION*, *16*(3), 1203-1220. https://doi.org/10.3934/jimo.2018200

Liu, X. H., Shan, M. Y., Zhang, R. L., & Zhang, L. H. (2018). Green Vehicle Routing Optimization Based on Carbon Emission and Multiobjective Hybrid Quantum Immune Algorithm. *MATHEMATICAL PROBLEMS IN ENGINEERING*, *2018*, Article 8961505. https://doi.org/10.1155/2018/8961505

Min, H. K. (1991). A MULTIOBJECTIVE VEHICLE-ROUTING PROBLEM WITH SOFT TIME WINDOWS - THE CASE OF A PUBLIC-LIBRARY DISTRIBUTION-SYSTEM. *SOCIO-ECONOMIC PLANNING SCIENCES*, *25*(3), 179-188. https://doi.org/10.1016/0038-0121(91)90016-K

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & The-PRISMA-Group. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Medicine*, *6*(7). https://doi.org/doi:10.1371/journal.pmed.1000097

Park, Y. B., & Koelling, C. P. (1986). A solution of vehicle routing problems in a multiple objective environment. *Engineering Costs and Production Economics*, *10*(1), 121-132. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0167-188X(86)90033-9

Wang, C., Liu, R. R., Su, Y. S., & Zhang, X. Y. (2023). Accelerating Two-Phase Multiobjective Evolutionary Algorithm for Electric Location-Routing Problems. *IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS*. https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3266807

Wang, Y., Wei, Y. H., Wang, X. W., Wang, Z., & Wang, H. Z. (2023). A clustering-based extended genetic algorithm for the multidepot vehicle routing problem with time windows and three-dimensional loading constraints. *APPLIED SOFT COMPUTING*, *133*, Article 109922. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.109922

Wei, L. X., Feng, B., & Liu, Q. S. (2023). PICKER ROUTING OPTIMIZATION OF STORAGE STACKER BASED ON IMPROVED MULTI-OBJECTIVE ITERATIVE LOCAL SEARCH ALGORITHM. *JOURNAL OF INDUSTRIAL AND MANAGEMENT OPTIMIZATION*, *19*(8), 5594-5611. https://doi.org/10.3934/jimo.2022187

Wu, L. J., Chen, Z. G., Chen, C. H., Li, Y., Jeon, S. W., Zhang, J., & Zhan, Z. H. (2022). Real Environment-Aware Multisource Data-Associated Cold Chain Logistics Scheduling: A Multiple Population-Based Multiobjective Ant Colony System Approach. *IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS*, *23*(12), 23613-23627. https://doi.org/10.1109/TITS.2022.3203629

Zhang, K. K., Cai, Y. Q., Fu, S. K., & Zhang, H. Z. (2022). Multiobjective memetic algorithm based on adaptive local search chains for vehicle routing problem with time windows. *EVOLUTIONARY INTELLIGENCE*, *15*(4), 2283-2294. https://doi.org/10.1007/s12065-019-00224-7

Síntesis curricular de los autores

M. Sc. Manuel Enrique Coloma-Salazar[1] mcoloma@uho.edu.cu, https://orcid.org/0000-0003-0451-1265 Es graduado de Ingeniería Industrial (2014) y Máster en Dirección (2017) en la Universidad de Holguín. Actualmente es profesor asistente del Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería Industrial, y asesor de proyectos internacionales en la Dirección de Relaciones Internacionales de la Universidad de Holguín.

Dr. C. José Arzola-Ruiz[2] jarzolacm@icb.cujae.edu.cu, https://orcid.org/0000-0002-4101-878X Es graduado de Ingeniería Metalúrgica (1971) y Doctor en Cibernética (1982) en la Universidad Politécnica de San Petesburgo "Pedro el Grande". Actualmente es porfesor e investigador titular del Centro de Estudios de Mátemáticas para las Ingenierías de la Universidad Tecnológica de La Habana.

Dra. C. Clara Elena Marrero-Fornaris[1] cmarrero@uho.edu.cu, https://orcid.org/0000-0001-9417-7234 Es graduada de Ingeniería Industrial (1985) en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Máster en Gestión de Recursos Humanos (1997) y Doctora en Ciencias Técnicas (2002) en la Universidad Tecnológica de La Habana. Actualmente es profesora del Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería Industrial, de la Universidad de Holguín.

Institución de los autores

[1] Universidad de Holguín. Cuba.

[2] Universidad Tecnológica de la Habana. Cuba.

Declaración de contribución de autoría

M. Sc. Manuel Enrique Coloma-Salazar: Investigación, Metodología y Redacción -revisión y edición

Dr. C. José Arzola-Ruiz: Investigación, Metodología y Supervisión

Dr. C. Clara Elena Marrero-Fornaris: Investigación, Metodología y Supervisión

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en relación con el artículo presentado

Como citar este artículo

Coloma-Salazar, M. E., Arzola-Ruiz J., Marrero-Fornaris C. E. (2023). Sistematización de la literatura sobre los problemas de ruteo de vehículos multiobjetivo. *Revista Ciencias Holguín*, *29*(3), 72-85.

Fecha de Recepción: 30 de mayo 2023

Fecha de Aprobación: 15 de junio 2023

Fecha de Publicación: 30 de julio 2023

© Centro de Información y Gestión Tecnológica de Holguín. Cuba
(CIGET de Holguín)