

ARTÍCULOS

Optimización y su relación con la logística

Optimization and its relation with logistics

Jesús del Carmen Peralta-Abarca

ORCID: 0000-0003-2995-9277, carmen.peralta@gmail.com

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería (FCQEI),
Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

Pedro Moreno Bernal

ORCID: 0000-0002-2811-5331, pmoreno@uaem.mx

Facultad de Contaduría, Administración e Informática (FCAEI),
Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

Felipe de Jesús Bonilla Sánchez

ORCID: 0009-0001-8674-8209, fbonilla@uaem.mx

Facultad de Contaduría, Administración e Informática (FCAEI),
Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

José Alberto Hernández Aguilar

ORCID: 0000-0002-5184-0005, jose_hernandez@uaem.mx

Facultad de Contaduría, Administración e Informática (FCAEI),
Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

Recepción: 15/07/23. Aceptación: 19/03/24. Publicación: 31/05/24

RESUMEN

La logística es un área crucial en el transporte y distribución de bienes y productos. Los modelos de ruteo vehicular aplicados en logística son una herramienta esencial para mejorar la eficiencia y reducir los costos operativos en la distribución de productos. Los modelos de optimización se basan en el problema de ruteo vehicular, el cual puede abordarse mediante algoritmos computacionales que permiten considerar factores como la capacidad de los vehículos, la distancia entre los puntos de partida y de entrega, los tiempos de espera, y las restricciones de los conductores, los clientes y los vehículos. Asimismo, permiten considerar la trazabilidad de los productos, ayudando a las empresas y a los clientes a monitorear el movimiento de los productos desde su origen hasta su destino final.

PALABRAS CLAVE

logística, ruteo vehicular, trazabilidad, optimización

ABSTRACT

Logistics plays a critical role in transporting and distributing products and assets. Vehicle routing models are essential in logistics to enhance efficiency and reduce operating costs in product distribution. Optimization models are based on the vehicle routing problem, which computational optimization algorithms can address. These algorithms consider factors such as vehicle capacity, distance between departure and delivery points, waiting times, and driver, customer, and vehicle constraints. Furthermore, optimization algorithms enable consideration of product traceability, which helps companies and customers track the movement of products from their origin to their final destination.

KEYWORDS

logistics, vehicle routing, traceability, optimization

Relación de la logística y modelos de ruteo vehicular

La logística es una disciplina que se enfoca en la gestión eficiente de procesos de producción, almacenamiento y distribución de bienes y servicios, la cual permite gestionar de forma eficiente el flujo de bienes y servicios mediante un sistema de transporte. Así, por medio de un sistema de transporte eficaz se provee de una mayor amplitud y competencia en el mercado, en áreas alrededor del punto de producción (Ballou, 2004). Los costos de transporte pueden ser reducidos mediante optimización, lo cual permite una mayor competitividad en el mercado.

La optimización de transporte para problemas de logística se realiza mediante el problema de ruteo vehicular (*vehicle routing problem*, VRP) (Toth y Vigo, 2014). El VRP representa un desafío combinatorio complejo debido a la gran cantidad de posibles soluciones que deben ser evaluadas para encontrar la óptima. Existen diversos métodos de solución de problemas combinatorios, que permiten optimizar la distribución de los productos, reducir los costos de transporte y mejorar la satisfacción del cliente. Uno de ellos son las metaheurísticas (Labadie et al., 2016; Peralta-Abarca, 2021).

Uno de los principales desafíos de la logística es la planificación y optimización de rutas de distribución. No obstante, la optimización de rutas se puede abordar como un problema VRP, mediante modelos matemáticos de ruteo vehicular y sus variantes.

Los modelos de ruteo vehicular (MRV) son herramientas matemáticas que permiten encontrar soluciones de rutas óptimas para el desplazamiento de bienes o productos mediante vehículos de transporte. Para el modelado de las rutas se consideran otros factores, como la capacidad de los vehículos, los tiempos de entrega, las restricciones de tráfico, entre otros. Los modelos de VRP proveen una amplia variedad de aplicaciones, desde la planificación de entregas de paquetería (por ejemplo, de empresas como FedEx, ups Estafeta, Correos de México, DHL) y alimentos (Danone, Bimbo, Alpura), hasta el diseño de rutas de recolección de basura y servicios de emergencia (Hillier y Lieberman, 2010; Rossit et al., 2020; Rossit y Nesmachnow, 2022).

La relación entre la logística y los MRV es muy estrecha. Por una parte, la logística se centra en el marco general dentro del cual se utilizan modelos matemáticos y, por otra, los modelos de ruteo vehicular permiten a las empresas logísticas planificar y optimizar las rutas de desplazamiento de bienes para su entrega. Una ruta óptima provee mayor eficiencia y reducción de costos, al minimizar la distancia total recorrida, el número de vehículos usados y los tiempos de espera en los puntos de entrega (Ballou, 2004) (Toth y Vigo, 2014). Asimismo, los MRV contribuyen a la reducción de la huella de carbono de las empresas logísticas, al diseñar rutas más cortas y eficientes que reducen el consumo de combustible y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Es importante considerar que los MRV son herramientas matemáticas que dependen de la calidad y precisión de los datos de entrada. Por lo tanto, es fundamental que las empresas logísticas cuenten con sistemas de seguimiento y control de sus vehículos, que permitan obtener datos precisos y actualizados sobre el tráfico, las condiciones climáticas y otros factores que puedan afectar el diseño de las rutas.

Métodos de solución aplicados a problemas de logística

Hoy en día, existen diversos MRV que son aplicados a problemas de logística. Los MRV se diferencian por la forma en que resuelven el problema de la optimización del recorrido de los vehículos de transporte. Por lo tanto, los distintos modelos pueden ser abordados mediante distintos métodos de solución. A continuación se enlistan los más destacados:

- Los métodos exactos, como el método Simplex (Dantzig, 1998), permiten encontrar la solución óptima al problema; sin embargo, el método enumera todas las posibles combinaciones para encontrar la mejor solución, lo cual requiere mayor tiempo de procesamiento. En logística, los métodos exactos se utilizan en situaciones donde el número de vehículos y la cantidad de mercancía son limitados y donde se conocen con precisión las ubicaciones de los puntos de entrega (Liberatore et al., 2011; Michalewicz y Fogel, 2013).
- Los métodos estocásticos o probabilísticos son métodos numéricos que toman en cuenta la incertidumbre para realizar un muestreo en el espacio de soluciones y aproximar la solución en tiempo razonable (Coello Coello et al., 2007). Las metaheurísticas pertenecen a esta clase de algoritmos.
- Los métodos heurísticos aplican reglas basadas en el conocimiento propio del problema para encontrar soluciones óptimas en tiempo razonable sobre problemas de tamaño pequeño y mediano (Michalewicz y Fogel, 2013). Los modelos más comunes que abordan problemas mediante heurísticas minimizan el costo de servicios de transporte, el tiempo de tránsito, las pérdidas y los daños, sujetos a restricciones de capacidad de los vehículos, tiempo total, intervalos de tiempos, relaciones de precedencia, entre otras (Laporte, 1992).
- Los algoritmos evolutivos (AE) son métodos de optimización inspirados en la evolución biológica y en la selección natural, los cuales permiten encontrar buenas soluciones en tiempo razonable para el problema de optimización del recorrido de vehículos y para la entrega y distribución de bienes o productos, pero sin garantizar una solución óptima. Son adecuados para abordar problemas combinatorios complejos y de gran tamaño (Coello Coello et al., 2007). En particular, los algoritmos genéticos, una clase de AE, son eficaces y eficientes para abordar problemas complejos que combinan variables enteras, reales y de decisión (binarias).

- Las redes neuronales artificiales (ANN, por sus siglas en inglés) son técnicas de clasificación y aprendizaje automático que se inspiran en el proceso de sinapsis que realiza el cerebro humano a nivel neuronal. Sin embargo, las ANN son adecuadas para abordar problemas grandes y complejos en optimización combinatoria, como es el caso del VRP (Modares et al., 1999).
- El método o algoritmo de *colonia de hormigas* (ACO, por sus siglas en inglés) se utiliza para resolver problemas combinatorios complejos. El ACO se basa en el comportamiento de búsqueda de alimento de las hormigas a través de un rastro de feromonas de la ruta más corta entre el hormiguero y una fuente de alimento (Dorigo y Stützle, 2004). El ACO es un método ampliamente usado para abordar problemas relacionados con ruteo vehicular y sus variantes, incluidos problemas de la vida real (Rizzoli et al., 2007).

Los MRV y sus variantes son abordados como problemas de optimización para encontrar el recorrido mínimo de vehículos de transporte de forma eficiente para la logística de transporte de bienes y productos (Kim et al., 2015). Los resultados obtenidos incluyen una reducción de costos de transporte para la empresa y una mejora en la satisfacción del cliente. Por ello, los MRV proveen buenas soluciones en distintos sectores de la logística, aunque tienen un mayor impacto en servicios de transporte de bienes y productos, distribución de alimentos y gestión de flotas de vehículos.

MRV en logística

Hoy en día, existen empresas en el sector del transporte que implementan MRV, independientemente de su tamaño y actividad económica. Uno de los sectores empresariales más relevantes es el de la distribución de alimentos, bebidas o productos frescos que necesitan mantener una cadena de frío y cumplir con horarios (Tarantilis y Kiranoudis, 2004), y que concentra en su mayoría a usuarios digitales.

Uno de los principales beneficios de los MRV es la capacidad de planificar y optimizar las rutas de transporte de manera más eficiente, lo que permite a las empresas reducir el número de vehículos empleados, disminuir el tiempo de entrega y ahorrar en costos de combustible. Otro beneficio de los MRV es la capacidad de integrarse con otras tecnologías de la cadena de suministro, como el seguimiento de envíos en tiempo real, lo que permite a las empresas tener un mayor control sobre sus operaciones y tomar decisiones informadas en tiempo real.

No obstante, los MRV no proveen una solución para todos los problemas de la logística, debido a la complejidad por el número de variables, ecuaciones e inecuaciones del modelo. Además, requieren de una inversión significativa en tecnología y personal especializado para su desarrollo, implementación y mantenimiento. Asimismo, la optimización de las rutas

de transporte puede ser compleja, especialmente en entornos urbanos o en situaciones en las que se requiere una gran cantidad de paradas y entregas.

Ventaja de usar MRV en logística

La logística es una actividad fundamental en la mayoría de las empresas, sobre todo en aquellas que se dedican a la venta de productos. La gestión de la cadena de suministro puede ser compleja y costosa, debido a que involucra el transporte de bienes y productos desde el lugar de producción hasta el lugar de destino. En este contexto, los MRV se presentan como una herramienta valiosa para mejorar la eficiencia y reducción de costos en la logística (Konstantakopoulos et al., 2020).

Un MRV permite planificar la ruta óptima para los vehículos de transporte de una empresa. Los modelos toman en cuenta diversos factores, como la ubicación de los puntos de entrega, el tiempo y la capacidad de los vehículos, las restricciones de tráfico y otros parámetros relevantes (Bochtis y Sørensen, 2009).

La ventaja más importante de utilizar MRV en la logística es la mejora en la eficiencia y la reducción de costos. Al planificar la ruta óptima se pueden minimizar los tiempos de espera y los tiempos de viaje, lo que se traduce en una reducción en los costos de combustible y una mejora en la productividad de los conductores y los vehículos. Hoy en día, la reducción de emisiones de CO₂ del sistema de transporte se puede controlar mediante la optimización de rutas de distribución a través de MRV. Además, los MRV permiten tomar en cuenta las restricciones de tráfico y las limitaciones de capacidad de los vehículos, lo cual ayuda a disminuir retrasos y problemas en la entrega de bienes y productos.

Otra ventaja de los MRV es la mejora en la calidad del servicio al cliente. Al planificar la ruta óptima se puede garantizar la entrega de los productos en el tiempo prometido, lo que aumenta la satisfacción del cliente y mejora la reputación de la empresa. Además, los MRV permiten identificar los puntos de entrega más importantes y estratégicos, lo que da pie a una mejor asignación de los recursos y una mejora en la gestión de la cadena de suministro.

Relación de la trazabilidad de los productos con MRV en logística

La trazabilidad de los productos y los MRV son dos aspectos cruciales en la logística moderna y están íntimamente relacionados. La primera se refiere a la capacidad de seguir el movimiento de un producto desde su origen hasta su destino final (Souali et al., 2016), lo que permite a las empresas mantener un control total sobre su cadena de suministro y garantizar la calidad y seguridad de los productos. Por otra parte, los MRV utilizan algoritmos de optimización para planificar las rutas óptimas para los vehículos que transportan los bienes o productos, con el fin de minimizar los costos y maximizar la eficiencia.

En la industria alimentaria, la trazabilidad es esencial para garantizar la seguridad alimentaria y para permitir a las empresas detectar rápidamente cualquier problema en la cadena de suministro. Si un producto es defectuoso o peligroso para el consumo humano, la trazabilidad permite a la empresa retirarlo del mercado rápidamente y evitar una posible crisis. Una solución viable para la trazabilidad de la cadena de suministro son las cadenas de bloques (*blockchain*) (Casino et al., 2021).

La trazabilidad de los productos y los MRV están relacionados de manera estrecha, ya que la información obtenida de la trazabilidad se puede emplear para mejorar los modelos de ruteo. Por ejemplo, si una empresa tiene información sobre la ubicación de sus productos en tiempo real, puede usarla para ajustar las rutas de entrega en tiempo real y optimizar la eficiencia de sus operaciones de transporte. Además, la trazabilidad permite identificar con rapidez cualquier problema en la cadena de suministro, como retrasos en la entrega o problemas con la calidad de los productos, lo que puede ayudar a los modelos de ruteo a planificar rutas alternativas y evitar retrasos en la entrega.

La relación entre la logística y los MRV es fundamental para lograr una gestión eficiente de los procesos de distribución. Los MRV permiten a las empresas de logística diseñar rutas óptimas que maximizan la eficiencia y minimizan los costos, al mismo tiempo que contribuyen a la reducción de la huella de carbono. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el éxito de estos modelos depende de la calidad y precisión de los datos de entrada, por lo que es relevante contar con sistemas de seguimiento y control adecuados.

En conclusión, los MRV son una herramienta valiosa para mejorar la eficiencia y reducir los costos en la logística de una empresa, además de ayudar con la trazabilidad del producto y disminuir su huella de carbono. Los MRV permiten planificar la ruta óptima para los vehículos de servicios de transporte, teniendo en cuenta diversos factores, como la ubicación de los puntos de entrega, el tiempo y la capacidad de los vehículos, las restricciones de tráfico y otros parámetros considerables. La mejora en la eficiencia y la calidad del servicio al cliente son dos de las ventajas cruciales de los MRV, lo que hace que sean una inversión importante para cualquier empresa socialmente responsable que se dedique a la logística.

Referencias

- Ballou, R. H. (2004). Logística: administración de la cadena de suministro. Pearson Educación. <https://books.google.co.ve/books?id=ii5xqLQ5VLgC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Bochtis, D. D. y Sørensen, C. G. (2009). The vehicle routing problem in field logistics: part I. *Biosystems Engineering*, 104(4), 447-457. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.09.003>
- Casino, F., Kanakaris, V., Dasaklis, T. K., Moschuris, S., Stachtiaris, S., Pagoni, M. y Rachaniotis, N. P. (2021). Blockchain-based food supply chain traceability: a case study in the dairy sector. *International Journal of Production Research*, 59(19), 5758-5770. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1789238>
- Coello Coello, C. A., Lamont, G. B. y Van Veldhuizen, D. A. (2007). *Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems* (vol. V, serie Genetic algorithms and evolutionary computation, D. E. Goldberg y J. R. Koza, eds.). Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-36797-2>
- Dantzig, G. B. (1998). *Linear programming and extensions* (pp. 94, 308). Princeton University Press. <https://www.rand.org/pubs/reports/R366.html>
- Dorigo, M. y Stützle, T. (2004). *Ant colony optimization*. Bradford Books. <https://web2.qatar.cmu.edu/~gdicaro/15382/additional/aco-book.pdf>
- Hillier, F. S. y Lieberman, G. J. (2010). *Introducción a la investigación de operaciones* (pp. 5, 283, 351, 368). McGraw-Hill, 9ª ed.
- Kim, G., Ong, Y. S., Heng, C. K., Tan, P. S. y Zhang, N. A. (2015). City vehicle routing problem (city VRP): a review. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(4), 1654-1666. <https://doi.org/10.1109/TITS.2015.2395536>
- Konstantakopoulos, G. D., Gayialis, S. P. y Kechagias, E. P. (2020). Vehicle routing problem and related algorithms for logistics distribution: a literature review and classification. *Operational Research*, 22, 2033-2062. <https://doi.org/10.1007/s12351-020-00600-7>
- Labadie, N., Prins, C. y Prodhon, C. (2016). *Metaheuristics for vehicle routing problems*. Wiley. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45403-0_15
- Laporte, G. (1992). The vehicle routing problem: an overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59(3), 345-358. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(92\)90192-C](https://doi.org/10.1016/0377-2217(92)90192-C)
- Liberatore, F., Righini, G. y Salani, M. (2011). A column generation algorithm for the vehicle routing problem with soft time windows. *4OR-Q J Oper Res*, 9, 49-82. <https://doi.org/10.1007/s10288-010-0136-6>
- Michalewicz, Z. y Fogel, D. B. (2013). *How to solve it: modern heuristics* (p. 76). Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-07807-5>

- Modares, A., Somhom, S. y Enkawa, T. (1999), A self-organizing neural network approach for multiple traveling salesman and vehicle routing problems. *International Transactions in Operational Research*, 6(6), 591-606. [https://doi.org/10.1016/S0969-6016\(99\)00015-5](https://doi.org/10.1016/S0969-6016(99)00015-5)
- Peralta-Abarca, J. del C. (2021). Metaheurísticas. *Inventio*, 14(34), 25-32. <http://dx.doi.org/10.30973/inventio/2018.14.34>
- Rizzoli, A. E., Montemanni, R., Lucibello, E. y Gambardella, L. M. (2007). Ant colony optimization for real-world vehicle routing problems. From theory to applications. *Swarm Intelligence*, 1(2), 135-151. <https://doi.org/10.1007/s11721-007-0005-x>
- Rossit, D. G. y Nesmachnow, S. (2022). Waste bins location problem: a review of recent advances in the storage stage of the Municipal Solid Waste reverse logistic chain. *Journal of Cleaner Production*, 342, 1-30. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2202.13754>
- Rossit, D. G., Toutouh, J. y Nesmachnow, S. (2020). Exact and heuristic approaches for multi-objective garbage accumulation points location in real scenarios. *Waste Management*, 105, 467-481. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2103.04826>
- Souali, K., Rahmaoui, O. y Ouzzif, M. (2016). An overview of traceability: definitions and techniques. *4th iee International Colloquium on Information Science and Technology*, 789-793. <https://doi.org/10.1109/CIST.2016.7804995>
- Tarantilis, C. D. y Kiranoudis, C. T. (2005). Operational Research and food logistics. *Journal of Food Engineering*, 70(3), 253-255. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.10.001>
- Toth, P. y Vigo, D. (2014). Vehicle routing: problems, methods, and applications. *SIAM*, 1-2. <https://doi.org/10.1137/1.9781611973594>