

Ruteo vehicular con inventario y sistemas de apoyo para decisiones: una revisión con análisis bibliométrico

Inventory routing and decision support systems: a review with bibliometric analysis

Ing. Jorge Israel Frómata Moya

<https://orcid.org/0000-0001-6630-5753>

jorgef@uo.edu.cu

Universidad de Oriente, Cuba

Dr.C. Fernando Marrero Delgado

<https://orcid.org/0000-0002-5470-2572>

fmarrero@uclv.edu.cu

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba

Resumen. El problema del ruteo vehicular con inventario es un tema importante dentro de la gestión de cadenas de suministros, y como tal ha sido tratado por la literatura científica. Así mismo, los sistemas de apoyo a la toma de decisiones han recibido mucha atención por parte de investigadores académicos por su utilidad. En este trabajo se propone una revisión de la literatura académica sobre ruteo vehicular con inventario y sistemas de apoyo para decisiones. Se utiliza un análisis bibliométrico en publicaciones sobre estos dos temas provenientes de las bases de datos Sciencedirect y Scielo, entre los años 1997 y 2020. Se analizan las tendencias temporales, distintas clasificaciones, autores y temas vinculados más relevantes y la vinculación entre los dos temas. Como principales hallazgos se encuentran la tendencia creciente del estudio de ambos temas, la ausencia de autores y temas centrales vinculados a estos, así como su escasa interrelación.

Palabras clave: revisión bibliográfica, análisis bibliométrico, ruteo vehicular con inventario, sistema de apoyo a decisiones.

Abstract. The inventory routing problem is an important issue within logistics and supply chain management, and as such has been addressed by the scientific literature. Likewise, decision support systems have received much attention from academic researchers due to their usefulness in numerous disciplines. This paper proposes a review of the academic literature on vehicle routing with inventory and decision support systems. For this, bibliometric analysis is used in publications on these two topics from the Sciencedirect and Scielo databases, between the

years 1997 and 2020. The temporal trends, different classifications, authors and most relevant related topics and the link between these topics are analyzed. The main findings are the growing trend in the study of both topics, the absence of authors and central themes linked to them, as well as the scarce interrelation in their study.

Keywords: bibliographic review, bibliometric analysis, inventory routing problem, decision support system.

Introducción

Los estudios sobre la gestión logística y de cadenas de suministros han ido evolucionando e incrementándose, abarcando múltiples disciplinas y aspectos de interés. Esto incluye la aparición de nuevas y más efectivas prácticas de gestión como es el caso del inventario gestionado por el proveedor o vendor-managed inventory (VMI) donde es el proveedor quién decide cuanto y cuando suministrar los bienes a los clientes (Vadseth *et al.*, 2021). Esta práctica está íntimamente relacionada con el estudio del problema de ruteo vehicular con manejo de inventario o inventory routing problem (IRP) ya que su objetivo es la optimización de toda la cadena logística, asegurando la satisfacción de la demanda de los clientes sin rupturas en el suministro (Archetti *et al.*, 2017; Mahjoob *et al.*, 2021).

El IRP es una extensión de una gama de problemas muy estudiados en la literatura, conocidos como problema de ruteo vehicular o vehicle routing problema (VRP). Moya *et al.* (2020) realiza un breve análisis de las extensiones del VRP entre las que el IRP es de las más recientes en ser estudiadas. A su vez el IRP conforme ha ganado interés entre los investigadores ha ido extendiéndose en casos particulares tales como el consistent inventory routing problem with time windows and split deliveries (CIRPTWSD) (Ortega *et al.*, 2020); stochastic IRP (Liu *et al.*, 2019); maritime IRP (Eide *et al.*, 2020); entre otros.

No obstante, de acuerdo con Mahjoob *et al.* (2021) existen pocos estudios de revisión de la literatura científica sobre el IRP, este autor cita a Federgruen & Simchi-Levi (1995) como uno de los primeros en emprender este análisis. Soysal (2019) cita revisiones destacadas de otros autores como Baita *et al.* (1998), Andersson *et al.* (2010), Coelho *et al.* (2014), entre otros; que van desde el análisis general hasta las variantes específicas dentro del IRP.

Por su parte, el estudio de los sistemas de apoyo a la toma de decisiones o Decision Support System (DSS) es otro tema muy estudiado y de suma actualidad. Su uso cubre una enorme gama de problemas en todos los ámbitos de la gestión y la investigación científica, lo cual incluye aquellos concernientes a la gestión logística y de cadenas de suministros. Eso incluye los problemas clasificados como VRP e IRP, que por la complejidad de sus soluciones, y la naturaleza algorítmica de estas hacen esencial y casi imprescindible la utilización de DSS como parte de su estudio (Muriel & Simchi-Levi, 2003).

Se puede encontrar en la literatura científica varias revisiones bibliográficas sobre el estudio del IRP, incluidas aquellas que tratan casos especiales o sectores de la industria específicos. La mayoría de estas se enfocan en una clasificación de los estudios de este problema tipo a partir de los métodos a utilizar para su solución, o la dimensión donde se enmarca; normalmente económica y medioambiental. Sin embargo, no se encontró ninguna revisión bibliográfica previa que analizara la interrelación que se establece en las publicaciones científicas entre el estudio del IRP y la utilización de DSS.

El propósito del trabajo que se propone es mostrar una revisión, enfocada al análisis bibliométrico del estudio del IRP interrelacionada con DSS. Se persigue mostrar aspectos de interés, tendencias y posibles vacíos en la investigación del tema. Para esto se realiza una búsqueda sistemática en las bases de datos Scencedirect y Scielo siguiendo una metodología orientada al respecto.

Materiales y métodos

Para lograr un mínimo error en la selección de los artículos incluidos en este estudio, se procedió a la utilización de una metodología sistemática. Una revisión sistemática consiste en realizar una búsqueda transparente y reproducible de la literatura existente, en la que se tiene mucho cuidado para aplicar criterios objetivos a la inclusión o rechazo de un artículo. Diferentes autores han propuesto formas de proceder para asegurar la transparencia y la reproducibilidad de la revisión bibliográfica, entre los cuales se puede citar a Seuring & Müller (2008) y Tranfield *et al.* (2003). Por la profundidad de la propuesta para la presente investigación, se siguen las pautas propuestas por Tranfield *et al.* (2003). Estas pautas consisten en nueve fases divididas en tres etapas, como se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Etapas de una revisión sistemática de la literatura científica

No.	Etapas
1	Planificación de la revisión
1.1	Identificación de la necesidad de una revisión
1.2	Preparación de una propuesta
1.3	Desarrollo del protocolo de revisión
2	Realizar la revisión
2.1	Identificación de los estudios
2.2	Selección de estudios
2.3	Estudio de evaluación de calidad
2.4	Extracción de datos
2.5	Síntesis de datos
3	Informe de resultados
3.1	Informe y recomendaciones
3.2	Llevar evidencia a la práctica

Fuente: Tranfield *et al.* (2003)

La investigación que se expone complementa el procedimiento con la utilización de métodos y herramientas propias del análisis bibliométrico. El análisis bibliométrico es propio del campo de la gestión de la información. Este se soporta en el análisis cuantitativo y estadístico de los resultados de ciencia publicados. Incluye normalmente estadísticas descriptivas y análisis de redes de los datos y metadatos de las publicaciones disponibles sobre los temas de interés de análisis (Liang & Liu, 2018). La utilización de técnicas propias del análisis bibliométrico en el presente trabajo, fundamentalmente el análisis de redes de autores y palabras claves mediante el software libre VOSviewer, permite responder las preguntas de investigación planteadas.

Resultados y discusión

Aplicando la metodología señalada, para cada etapa y paso se obtuvieron los resultados que se muestran a continuación.

Planificación de la revisión

El protocolo de revisión incluyó la identificación de la pregunta de investigación, los criterios de búsqueda, incluidas las fechas y las bases de datos científicas a buscar, así como los criterios de inclusión. El resumen del protocolo se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Resumen del protocolo de revisión

Tema	Revisión de la literatura científica sobre IRP y el uso de DSS
Preguntas de investigación	¿Cuáles son las tendencias en el estudio sobre IRP y sobre DSS? ¿Cuáles son las clasificaciones más representativas existentes en el estudio sobre IRP y el uso de DSS? ¿Cuáles son los autores más relevantes y de mayor actualidad que han publicado sobre estos temas? ¿Cuáles son los contenidos de mayor relevancia y actualidad sobre estos temas tratados de forma combinada como temas principales en la investigación?
Fechas	Desde 1997 hasta 2020
Bases de datos	Scencedirect, Scielo
Criterio de búsqueda	Artículos científicos incluidos en las bases de datos seleccionadas, idioma inglés y español, que incluyan sobre IRP y el uso de DSS dentro del Título, Resumen y palabras claves.
Criterios de inclusión	Discutan sobre el IRP y el uso de DSS.
Palabras claves	IRP, “inventory routing problem”, “problema de ruteo vehicular” + “inventario”, DSS, “Decision Support System”, “sistema de apoyo a la toma de decisiones”

Identificación, selección y extracción de los estudios

Se seleccionaron las dos bases de datos de artículos científicos de acuerdo a la planificación de la revisión por su prestigio y accesibilidad, dada las condiciones de la investigación. La búsqueda se limitó a la coincidencia en cuanto al título, resumen o palabras clave. Se incluyeron publicaciones en inglés y español. Para ser incluido en la muestra, el artículo debía mostrar la correspondencia de la gestión de los temas investigados en el ámbito empresarial y organizacional. Los resultados globales de las búsquedas realizadas se resumen en la tabla 3.

Tabla 3. Resumen de cantidad de publicaciones en las búsquedas realizadas

Base de datos/ Temas	Problema de ruteo vehicular e inventario (IRP)	Sistema de apo- yo a la toma de decisiones (DSS)	IRP+DSS
Scienccdirect	188	7108	2
Scielo	5	146	0

Síntesis de datos (Análisis bibliométrico)

Primeramente se estudia la tendencia en el tiempo del estudio de los temas investigados reflejado en las publicaciones en las bases de datos escogidas, todo lo cual se muestra en la figura 1.

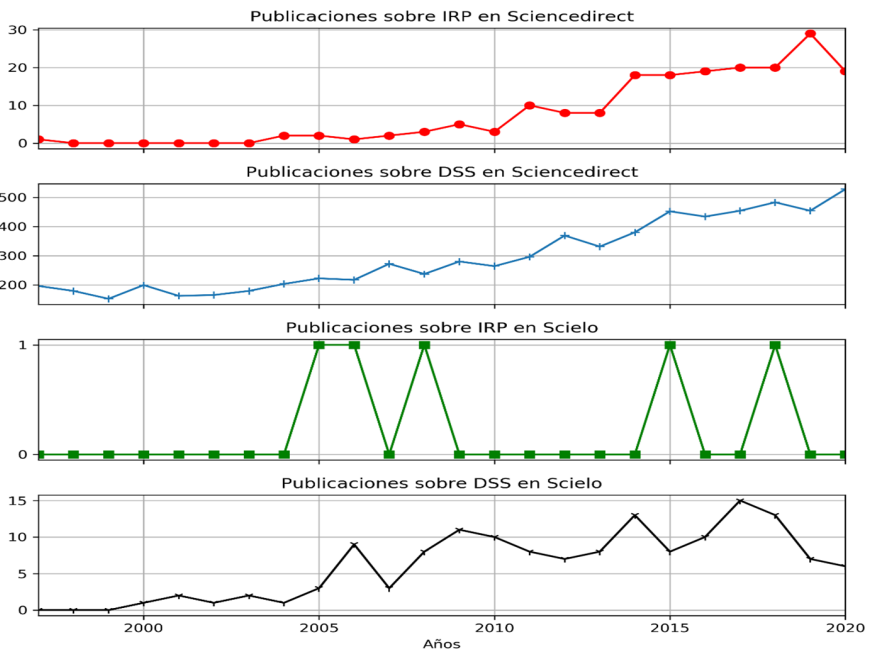


Figura 1. Tendencia en el tiempo de las publicaciones extraídas

El estudio de los temas bajo análisis tiene una tendencia a aumentar en el tiempo. Las publicaciones sobre DSS en cualquiera de las bases de datos que se escogieron muestran un volumen mucho mayor respecto a las publicaciones sobre IRP, lo que demuestra que es un tema de mucho interés y amplio alcance. Mientras las publicaciones sobre DSS llegan

a quince en Scielo y más de 500 en Sciencedirect en los años de mayor producción, en el caso de IRP no exceden las treinta en Sciencedirect y uno en Scielo. En cuanto a las bases de datos, los trabajos publicados en Sciencedirect exceden por mucho a la cantidad publicada en Scielo, lo que es una muestra de su mayor alcance e impacto entre los investigadores de estos temas.

En la figura 2 se muestra los tipos de publicaciones extraídas, de acuerdo a los temas y las bases de datos. Del análisis se evidencia que predominan las publicaciones con carácter de artículos de investigación, lo que enmarca un enfoque muy práctico en las investigaciones sobre estos temas. Otras clasificaciones son mucho menos significativas, entre las que destaca las revisiones de la literatura.

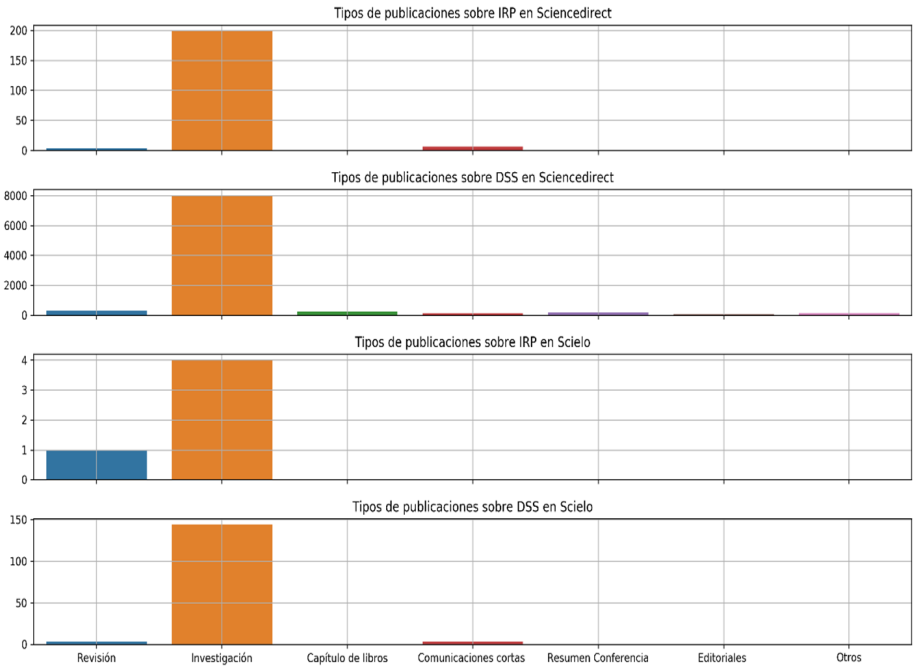


Figura 2. Clasificación por tipo de publicaciones extraídas

Por su parte, las áreas de conocimiento en las que se enmarcan las publicaciones sobre los temas bajo análisis son fundamentalmente: Decisión Science (Ciencia de la toma de decisiones), Engineering (Ingeniería) y Computer Science (Ciencias de la computación); tal como se muestra en la figura 3. Se puede arribar a otras conclusiones a partir de lo mostrado en la figura 3, como una mayor variedad de áreas del

conocimiento cubiertas en las publicaciones sobre DSS respecto a IRP, así como en la base de datos de Sciencedirect respecto a Scielo.

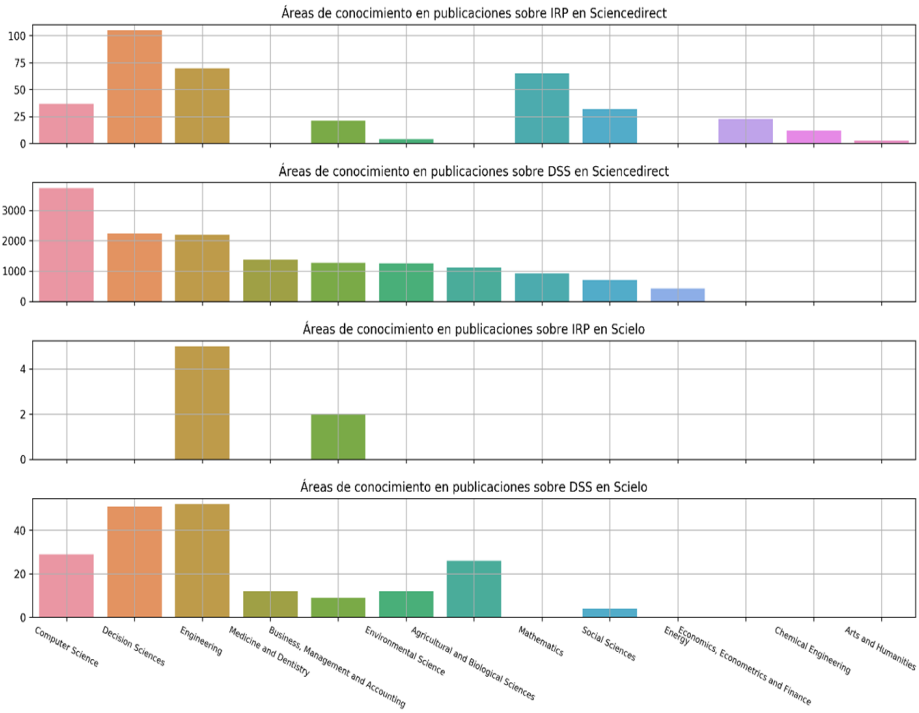


Figura 3. Clasificación por áreas del conocimiento de publicaciones extraídas

La figura 4 muestra las redes de autoría que se establecen en las publicaciones de las bases de datos seleccionadas sobre los temas estudiados. Estas redes se establecen a partir de las relaciones de las publicaciones basadas en sus referencias bibliográficas, dos o más publicaciones estarán relacionadas si citan uno o más autores en común. Basado en lo anterior se aprecia cierta desconexión en este sentido, de 3364 autores recogidos como parte de la revisión solo una pequeña proporción cuentan con 5 o más artículos sobre los temas que se revisan en este trabajo y aparecen reflejados en la figura 4. Los autores que más resaltan como puntos de referencias para otros autores son: Leandro Coehlo, Marielle Christiansen, Gilbert Laporte, Cordeau y Claudia Archetti, cuyos trabajos se enfocan fundamentalmente en el IRP con multidimensionalidad en las ventanas de tiempo, características de la flota vehicular y sus indicadores (Coehlo *et al.*, 2012; Coehlo & Laporte, 2013; Archetti *et*

al., 2019; Larrain *et al.*, 2019). Si bien su impacto no es excesivamente significativo, muchos de los trabajos más actuales sobre el tema en esta base de datos, referencian a estos autores. Es de destacar que a pesar de que el tema de mayor número de publicaciones es sobre DSS, el conglomerado de autores que destaca investiga sobre IRP, lo que demuestra la ausencia de puntos de referencias centrales en cuanto a autoría de publicaciones.

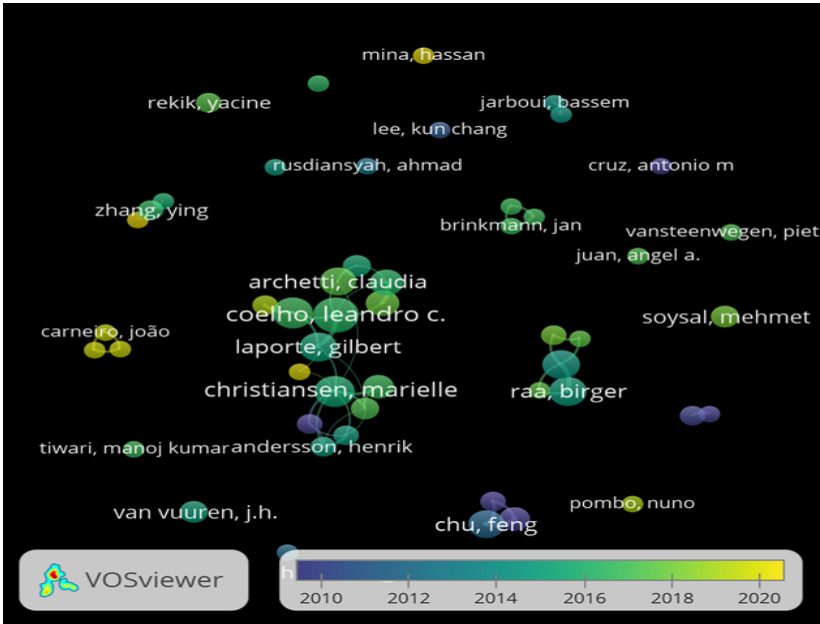


Figura 4. Mapa de redes de autores de publicaciones sobre IRP y DSS en Sciencedirect y Scielo

En cuanto a las palabras claves que los autores definen en sus publicaciones, la figura 5 muestra un análisis de las relaciones entre estas para los temas IRP y DSS en las bases de datos Sciencedirect y Scielo. Se muestra claramente el predominio de las palabras claves “decision support system” (sistema de apoyo a la toma de decisiones) asociada a muchas otras; fundamentalmente en el ámbito de disciplinas de actualidad como “precision agriculture” (agricultura de precisión), “clinical decision support” (apoyo a decisiones clínicas) y “machine learning” (aprendizaje de máquinas). No obstante no destaca el predominio de relaciones con publicaciones sobre IRP, aunque si en menor medida con palabras claves asociadas como “vendor managed inventory” o inventario manejado por el vendedor y “vehicle routing” o ruteo vehicular

(Dong *et al.*, 2017); así como métodos y algoritmos matemáticos como “mixed integer programming” o programación entera mixta (Liu *et al.*, 2020) y “genetic algorithm” o algoritmo genético (Park *et al.*, 2016)), entre otros.

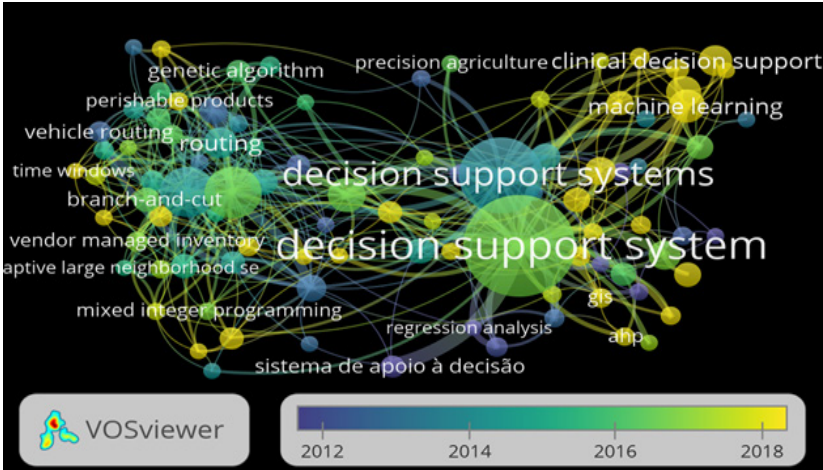


Figura 5. Mapa de redes de relaciones de palabras claves en publicaciones sobre IRP y DSS en Scienedirect y Scielo.

Síntesis de datos (Análisis de contenido)

Del análisis bibliométrico realizado se puede observar que no existen evidencias de una relación estrecha entre las investigaciones sobre IRP y DSS. De manera general, son muchos los autores que reconocen la necesidad y pertinencia del uso de DSS para implementar soluciones del IRP, sin embargo no se suele profundizar en este aspecto. Esto se confirma en la búsqueda conjunta de ambos términos entre las palabras claves y títulos de los trabajos publicados. En la base de datos de Scielo no se obtienen resultados, mientras en la de Scienedirect se obtienen solo 2.

Cheng & Duran (2004) tratan el desarrollo de un DSS para apoyar la toma de decisiones como parte del diseño y control de un sistema de distribución e inventario dentro de una cadena de suministros global de combustibles. Es por ello que el trabajo brinda no solo los modelos matemáticos de optimización y simulación para la solución del IRP, sino también los elementos necesarios para su integración como parte del DSS en cuestión. Esto incluye las plataformas informáticas utilizadas y su integración.

Por su parte, Bredström *et al.* (2015) discuten sobre la utilización de un modelo de programación lineal entera mixta como solución del IRP en un modelo de negocio dentro de una empresa específica, y parte de un DSS preexistente en la misma. Por esto el enfoque está más centrado en la modelación matemática que brinda la solución del problema y su incorporación a la lógica del negocio dentro del DSS, que a aspectos técnicos y herramientas de como ocurre la integración de la propuesta en el DSS.

Conclusiones

En este trabajo se efectuó un análisis bibliométrico a partir de una revisión bibliográfica de las publicaciones científicas enfocadas en IRP y DSS en las bases de datos de Scencedirect y Scielo. Como parte de esto, se realizaron análisis a la tendencia temporal de las publicaciones extraídas, las clasificaciones de las mismas y la interrelación que se establecen entre autores y palabras claves.

Ambos temas, IRP y DSS, resultan temas muy tratados y de gran actualidad, lo que queda demostrado en una tendencia creciente de su tratamiento. No obstante el tema DSS muestra un volumen mayor de publicaciones. Igualmente ambos temas muestran una gran diversidad en los tópicos tratados en sus contenidos, así como en sus autores, no pudiéndose señalar con claridad tendencias centrales en estos sentidos.

Los temas estudiados no suelen ser estudiados en una interrelación directa por los autores, encontrándose solo dos publicaciones con esta perspectiva. Esto sucede a pesar del reconocimiento de algunos autores de la importancia de su vinculación. Esto resulta un futuro direccionamiento de estudios que podrían ser de mucha utilidad sobre todo para la aplicación práctica de ambos temas.

Referencias

- Andersson, H., Hoff, A., Christiansen, M., Hasle, G., & Løkketangen, A. (2010). Industrial aspects and literature survey: Combined inventory management and routing. *Computers & Operations Research*, 37(9), 1515-1536.
- Archetti, C., Desaulniers, G., & Speranza, M. G. (2017). Minimizing the logistic ratio in the inventory routing problem. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 6(4), 289-306.

- Archetti, C., Coelho, L. C., & Speranza, M. G. (2019). An exact algorithm for the inventory routing problem with logistic ratio. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 131, 96-107.
- Baita, F., Ukovich, W., Pesenti, R., & Favaretto, D. (1998). Dynamic routing-and-inventory problems: a review. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 32(8), 585-598.
- Bredström, D., Haugen, K., Olstad, A., & Novotný, J. (2015). A mixed integer linear programming model applied in barge planning for Omya. *Operations Research Perspectives*, 2, 150-155.
- Cheng, L., & Duran, M. A. (2004). Logistics for world-wide crude oil transportation using discrete event simulation and optimal control. *Computers & chemical engineering*, 28(6-7), 897-911.
- Coelho, L. C., Cordeau, J. F., & Laporte, G. (2012). Consistency in multi-vehicle inventory-routing. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 24, 270-287.
- Coelho, L. C., & Laporte, G. (2013). A branch-and-cut algorithm for the multi-product multi-vehicle inventory-routing problem. *International Journal of Production Research*, 51(23-24), 7156-7169.
- Coelho, L. C., Cordeau, J. F., & Laporte, G. (2014). Thirty years of inventory routing. *Transportation Science*, 48(1), 1-19.
- Dong, Y., Maravelias, C. T., Pinto, J. M., & Sundaramoorthy, A. (2017). Solution methods for vehicle-based inventory routing problems. *Computers & Chemical Engineering*, 101, 259-278.
- Eide, L., Årdal, G. C. H., Evsikova, N., Hvattum, L. M., & Urrutia, S. (2020). Load-dependent speed optimization in maritime inventory routing. *Computers & Operations Research*, 123, 105051.
- Federgruen, A., & Simchi-Levi, D. (1995). Analysis of vehicle routing and inventory-routing problems. *Handbooks in operations research and management science*, 8, 297-373.
- Larrain, H., Coelho, L. C., Archetti, C., & Speranza, M. G. (2019). Exact solution methods for the multi-period vehicle routing problem with due dates. *Computers & Operations Research*, 110, 148-158.
- Liang, T. P., & Liu, Y. H. (2018). Research landscape of business intelligence and big data analytics: A bibliometrics study. *Expert Systems with Applications*, 111, 2-10.
- Liu, M., Liu, X., Chu, F., Zheng, F., & Chu, C. (2019). Distributionally robust inventory routing problem to maximize the service level under limited budget. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 126, 190-211.

- Liu, W., Ke, G. Y., Chen, J., & Zhang, L. (2020). Scheduling the distribution of blood products: A vendor-managed inventory routing approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 140, 101964.
- Mahjoob, M., Fazeli, S. S., Tavassoli, L. S., Mirmozaafari, M., & Milanlouei, S. (2021). A green multi-period inventory routing problem with pickup and split delivery: A case study in flour industry. *Sustainable Operations and Computers*, 2, 64-70.
- Moya, J. I. F., Velázquez, D. R. T., Mastrapa, L. H., & León, Y. O. L. (2020). Integrated mathematical model based on a heuristic method for loading and routing of vehicles: application in a tobacco company. *Independent Journal of Management & Production*, 11(6), 2091-2111.
- Muriel, A., & Simchi-Levi, D. (2003). Supply chain design and planning—applications of optimization techniques for strategic and tactical models. *Handbooks in operations research and management science*, 11, 15-93.
- Ortega, E. J. A., Schilde, M., & Doerner, K. F. (2020). Matheuristic search techniques for the consistent inventory routing problem with time windows and split deliveries. *Operations Research Perspectives*, 7, 100152.
- Park, Y. B., Yoo, J. S., & Park, H. S. (2016). A genetic algorithm for the vendor-managed inventory routing problem with lost sales. *Expert systems with applications*, 53, 149-159.
- Seuring, S., & Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of cleaner production*, 16(15), 1699-1710.
- Soysal, M., Çimen, M., Belbağ, S., & Toğrul, E. (2019). A review on sustainable inventory routing. *Computers & Industrial Engineering*, 132, 395-411.
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British journal of management*, 14(3), 207-222.
- Vadseth, S. T., Andersson, H., & Stålhane, M. (2021). An iterative matheuristic for the inventory routing problem. *Computers & Operations Research*, 131, 105262.

Conflictos de Intereses

No hay conflictos de intereses.

Declaración de autoría

Jorge Israel Frómata Moya. Concibió y ejecutó el estudio. Escribió el manuscrito. Fernando Marrero Delgado. Participó en la concepción del estudio, supervisó su ejecución y revisó la versión preliminar del manuscrito, realizando varias correcciones y acotaciones.