

UNA MIRADA AL RUTEO DE VEHÍCULOS: MÉTODOS, TÉCNICAS Y ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

Ing. Raúl Ernesto Batista Moreno,
raulernesto19948@gmail.com, Universidad de Holguín, República de Cuba,
Dr.C. Yosvani Orlando Lao León,
ylaol@uho.edu.cu, Universidad de Holguín, República de Cuba,
Dra. C. Maira Rosario Moreno Pino,
mayramp188@gmail.com, Universidad de Holguín, República de Cuba.

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Raúl Ernesto Batista Moreno, Yosvani Orlando Lao León y Maira Rosario Moreno Pino (2019): "Una mirada al ruteo de vehículos: métodos, técnicas y análisis bibliométrico", Revista de Investigación Latinoamericana en Competitividad Organizacional RILCO, n. 3 (agosto 2019). En línea:
<https://www.eumed.net/rev/rilco/03/ruteo-vehiculos.html>
<http://hdl.handle.net/20.500.11763/rilco03ruteo-vehiculos>

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo mostrar una mirada parcial a la actividad de ruteo de vehículos como parte del subsistema de distribución física perteneciente al sistema logístico de empresas comercializadoras. En el mismo se aborda qué es un problema de ruteo de vehículos y los elementos componentes más importantes, los diferentes métodos y técnicas, donde diversos autores han desarrollado un conjunto de algoritmos y métodos para la confección de las rutas de distribución, ya sea utilizando métodos tradicionales de optimización (exactos y aproximados), los heurísticos y los metaheurísticos. Dada la importancia que tienen los estudios bibliométricos para evaluar el surgimiento y desarrollo de las actividades propias del conocimiento y conocer la actividad científica de sus investigadores e instituciones, se realizó el estudio en la hemeroteca en línea *Science Direct* hecho motivado por ser de acceso libre, poseer visibilidad internacional y por difundir la producción científica actualizada en diferentes áreas del conocimiento, lo que permite realizar un análisis sobre productividad y colaboración desde este contexto.

Palabras clave: ruteo de vehículos, métodos y técnicas, subsistema de distribución física, análisis bibliométrico, métodos y técnicas de ruteo de vehículos

ABSTRACT

The present work aims to show a partial view of the vehicle routing activity as part of the physical distribution subsystem belonging to the logistics system of trading companies. It addresses what is a vehicle routing problem and the most important component elements, the different methods and techniques, where different authors have developed a set of algorithms and methods for the preparation of distribution routes, either using methods traditional

optimization (exact and approximate), heuristics and metaheuristics. Given the importance of bibliometric studies to assess the emergence and development of knowledge-specific activities and to know the scientific activity of its researchers and institutions, the study was conducted in the Online Science Archive, motivated by being open access, possessing international visibility and to disseminate updated scientific production in different areas of knowledge, allowing an analysis of productivity and collaboration from this context.

Key words: vehicle routing, methods and techniques, physical distribution subsystem, bibliometric analysis, methods and vehicle routing techniques

INTRODUCCIÓN

A grandes rasgos un problema de **ruteo de vehículos** (VRP), por sus siglas en inglés, consiste en: dado un conjunto de clientes y depósitos dispersos geográficamente y una flota de vehículos, determinar un conjunto de rutas de costo mínimo que comiencen y terminen en los **depósitos**, para que los vehículos visiten a los **clientes**. Las características de los clientes, depósitos y vehículos, así como diferentes restricciones operativas sobre las rutas, dan lugar a diferentes variantes del problema (Olivera, 2004; Rodríguez Rodríguez, 2010; Prato torres, Suero Pèrez y Guzmàn Àvila, 2015; Toro Ocampo, Franco Baquero y Gallego Rendón, 2016).

Cada cliente tiene cierta demanda que deberá ser satisfecha por algún vehículo. En muchos casos, la demanda es un bien que ocupa lugar en los vehículos y es usual que un mismo vehículo no pueda satisfacer la demanda de todos los clientes en una misma ruta. Un caso equivalente al anterior ocurre cuando los clientes son proveedores y lo que se desea es recoger la mercadería y transportarla hacia el depósito (Martínez Delgado *et al.*, 2000).

También podría ocurrir que la mercadería deba ser transportada a los clientes, pero no esté inicialmente en el depósito, sino distribuida en ciertos sitios proveedores. En este caso, los proveedores deben ser visitados antes que los clientes.

En otros casos la demanda no es un bien sino un servicio: el cliente simplemente debe ser visitado por el vehículo. Un mismo vehículo podría, potencialmente, visitar a todos los clientes. En otra variante del problema, cada cliente tiene una ubicación y desea ser transportado hacia otro sitio.

Los clientes podrían tener restricciones relativas su horario de servicio. Usualmente estas restricciones se expresan en forma de intervalos de tiempo (llamados ventanas de tiempo) en los que se puede arribar al cliente.

En problemas con varios vehículos diferentes podrían existir restricciones de compatibilidad entre éstos y los clientes. En estos casos, cada cliente sólo puede ser visitado por algunos de los vehículos (por ejemplo, algunos vehículos muy pesados no pueden ingresar en ciertas localidades).

Tanto los vehículos como las mercaderías a distribuir (si las hubiera) suelen estar ubicadas en depósitos. Usualmente se exige que cada ruta comience y finalice en un mismo depósito, aunque este podría no ser el caso en algunas aplicaciones (por ejemplo, podría ser que el viaje debiera finalizar en el domicilio del conductor del vehículo).

En los problemas con múltiples depósitos cada uno de estos tiene diferentes características, por ejemplo, su ubicación y capacidad máxima de producción. Podría ocurrir que cada depósito tenga una flota de vehículos asignada a priori o que dicha asignación sea parte de lo que se desea determinar.

Los depósitos, al igual que los clientes, podrían tener ventanas de tiempo asociadas. En algunos casos debe considerarse el tiempo necesario para cargar o preparar un vehículo antes de que comience su ruta, o el tiempo invertido en su limpieza al regresar. Incluso, por limitaciones de los propios depósitos, podría querer evitarse que demasiados vehículos estén operando en un mismo depósito a la vez (es decir, la congestión del depósito) (Henningsson, Karlsson y Rönnqvist, 2007).

La capacidad de un vehículo podría tener varias dimensiones, como por ejemplo peso y volumen. Cuando en un mismo problema existen diferentes mercaderías, los vehículos podrían tener compartimentos, de modo que la capacidad del vehículo dependa de la mercadería de que se trate. En general, cada vehículo tiene asociado un costo fijo en el que se incurre al utilizarlo y un costo variable proporcional a la distancia que recorra (Rodríguez Rodríguez, 2010).

Los problemas en que los atributos (capacidad, costo, etc.) son los mismos para todos los vehículos se denominan de flota homogénea, y, si hay diferencias, de flota heterogénea. La cantidad de vehículos disponibles podría ser un dato de entrada o una variable de decisión. El objetivo más usual suele ser utilizar la menor cantidad de vehículos y minimizar la distancia recorrida ocupa un segundo lugar.

El **objetivo** del trabajo es mostrar una mirada parcial a la actividad de ruteo de vehículos como parte del subsistema de distribución física perteneciente al sistema logístico de empresas comercializadoras en los aspectos relacionados con: métodos, técnicas y análisis bibliométrico.

METODOLOGÍA

Se utilizaron **métodos teóricos: Histórico-lógico:** permitió el análisis, en la literatura especializada, del surgimiento y evolución sobre el ruteo de vehículos. **Sistémico-estructural:** se empleó para dar un enfoque sistémico y de procesos al estudio, específicamente al análisis del ruteo de vehículos. **Análisis y síntesis:** mediante la revisión de literatura y documentación especializada, así como de la experiencia teórica y práctica de especialistas consultados. Se utilizaron los siguientes **métodos empíricos:** Redes sociales en el Ucinet 6 for Windows Versión 6.165, análisis bibliométricos, revisión documental y observaciones científicas.

DESARROLLO DEL TEMA

Métodos y técnicas de ruteo de vehículos

La demanda de servicio en un territorio influye directamente en las estrategias a seguir para cubrir los puntos de demanda y en consecuencia, la topología de la red de almacenes, centros de consolidación y delegaciones de la empresa logística. La estrategia óptima a aplicar en un sistema de distribución debe responder a un balance de los distintos costos logísticos que actúan: los costos de transporte, costos de inventario (fijos o en tránsito) costos de manipulación y de amortización asociados a los almacenes y centro de consolidación.

En la figura 1 se muestran diferentes estrategias básicas cuya combinación permiten planificar un sistema de distribución física.

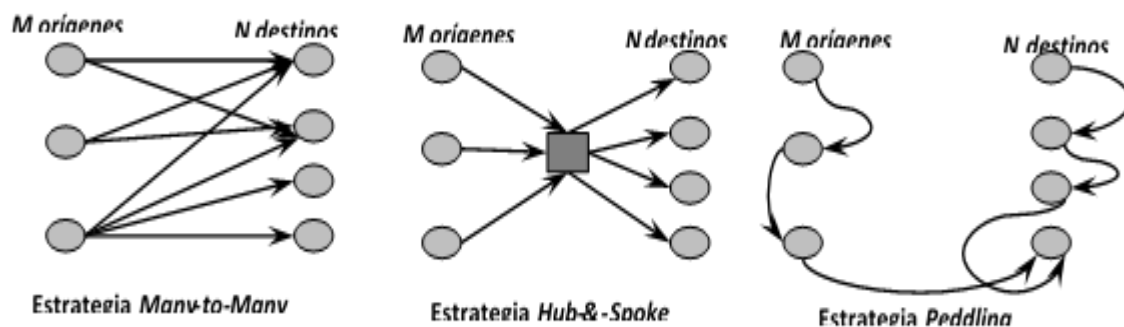


Figura 1. Estrategias básicas cuya combinación permiten planificar un sistema de distribución física. Fuente: Estrada (2007)

- Envíos directos (*many-to-many*): esta estrategia permite recorrer una distancia significativa con un alto número de vehículos para efectuar la distribución, por lo que únicamente se considera cuando los costos de servicio del vehículo son reducidos, cuando la demanda asociada entre todos los puntos origen-destino puede llenar la capacidad del vehículo o cuando las restricciones temporales sean importantes
- Envíos (*hub-&-spoke*): la construcción de centros de consolidación de carga (*hubs*) admite la concentración de la mercancía en estos puntos y la optimización de la capacidad de los

vehículos es escenarios con una distribución espacial de demanda no uniforme. Esta estrategia permite incrementar el factor de carga de los vehículos y en consecuencia, se reduce el costo unitario de transporte a nivel general de toda la red así como el tiempo total de la distribución

- Envíos (Peddling) con paradas múltiples. La aplicación de esta estrategia comporta comparativamente un número reducido de rutas compuestas por un alto número de paradas en cada una de ellas. Su aplicación se puede llevar a cabo cuando el costo y el tiempo para realizar una parada adicional en una ruta es reducido y en escenarios con costos de servicio de vehículo relativamente altos.

Las principales funciones del transporte en la logística están y han estado tradicionalmente ligadas básicamente a las dimensiones de tiempo y utilidad de lugar. En tal sentido, se ha dejado de considerar de una manera estratégica el diseño o análisis del transporte de las cadenas, donde se inserta las rutas de distribución, con un enfoque multicriterial tal que con ello, se obtengan resultados más cercanos a un valor deseado.

Según Jiménez Sánchez *et al.* (2002), con la especialización de las unidades productivas, la distribución de mercancías ha alcanzado una mayor importancia, pero también ha incrementado los costos en la Cadena de Suministro. Disminuir estos costos es un objetivo primario para toda empresa distribuidora y este objetivo se logra mediante alternativas, algunas de las cuales no han sido aún abordadas en la investigación, como: optimizar el uso de los vehículos de transporte en su capacidad de carga, disminuir al máximo los tiempos de las operaciones de carga y descarga de los vehículos de transporte en los nodos de la red y seleccionar el método adecuado para optimizar el transporte de reparto optimizar la explotación de los vehículos y medios de manipulación y almacenamiento de las cargas.

Dentro del subsistema de distribución, específicamente en la actividad de transporte, el objetivo es encontrar una ruta óptima y factible para cada uno de los vehículos. Esta decisión incluye tres aspectos fundamentales según refieren Qiu y Hsu (1999), primero es necesario saber si existe una ruta, la cual podría ir del punto de origen al punto de destino; segundo, la ruta seleccionada debe ser factible, es decir libre de congestión, de conflictos, de embotellamiento, según Taghaboni y Tanchoco (1995) y tercero, el camino debe ser óptimo, o al menos casi óptimo, de acuerdo a la función objetivo. Para Jaque Pirabán (2008), los problemas de rutas de distribución en realidad son un amplio conjunto de variantes y personalizaciones de problemas. Diversos autores han desarrollado un conjunto de algoritmos y métodos para la confección de las rutas de distribución (según se muestra en la figura 2), ya sea utilizando métodos tradicionales de optimización (exactos y aproximados), los heurísticos y los metaheurísticos. Moraga Suazo (2003), considera que los métodos exactos permiten llegar a una solución óptima en presencia de una gran diversidad de variables, se utilizan técnicas con el objetivo de reducir el espacio de búsqueda. Se emplean sólo en casos relativamente pequeños (Faulin, 2006). Los métodos aproximados son los de mayor aplicación práctica, ya que consienten en encontrar soluciones apropiadas de una forma más rápida, como le exige la mayoría de los sistemas logísticos (Garza Ríos y González Sánchez, 2004). Por otra parte los heurísticos son métodos que se emplean para resolver problemas no polinomiales, busca buenas soluciones cercanas al óptimo a un costo computacional razonable sin poder garantizar optimalidad. Su funcionamiento se basa en la experiencia, en un conocimiento de experto, es fácil de entender, pueden ser adaptados para incluir las restricciones encontradas en aplicaciones reales y realiza una exploración limitada del espacio de búsqueda (Molero y Salvador, s.a.). Los metaheurísticos se refieren al diseño de los tipos fundamentales de procedimientos heurísticos de solución de un problema de optimización. Algunos de los cuales están inspirados en la naturaleza y en vez de basar la búsqueda en un proceso constructivo lo hacen sobre varias soluciones simultáneamente (Moreno Pérez, 2004).

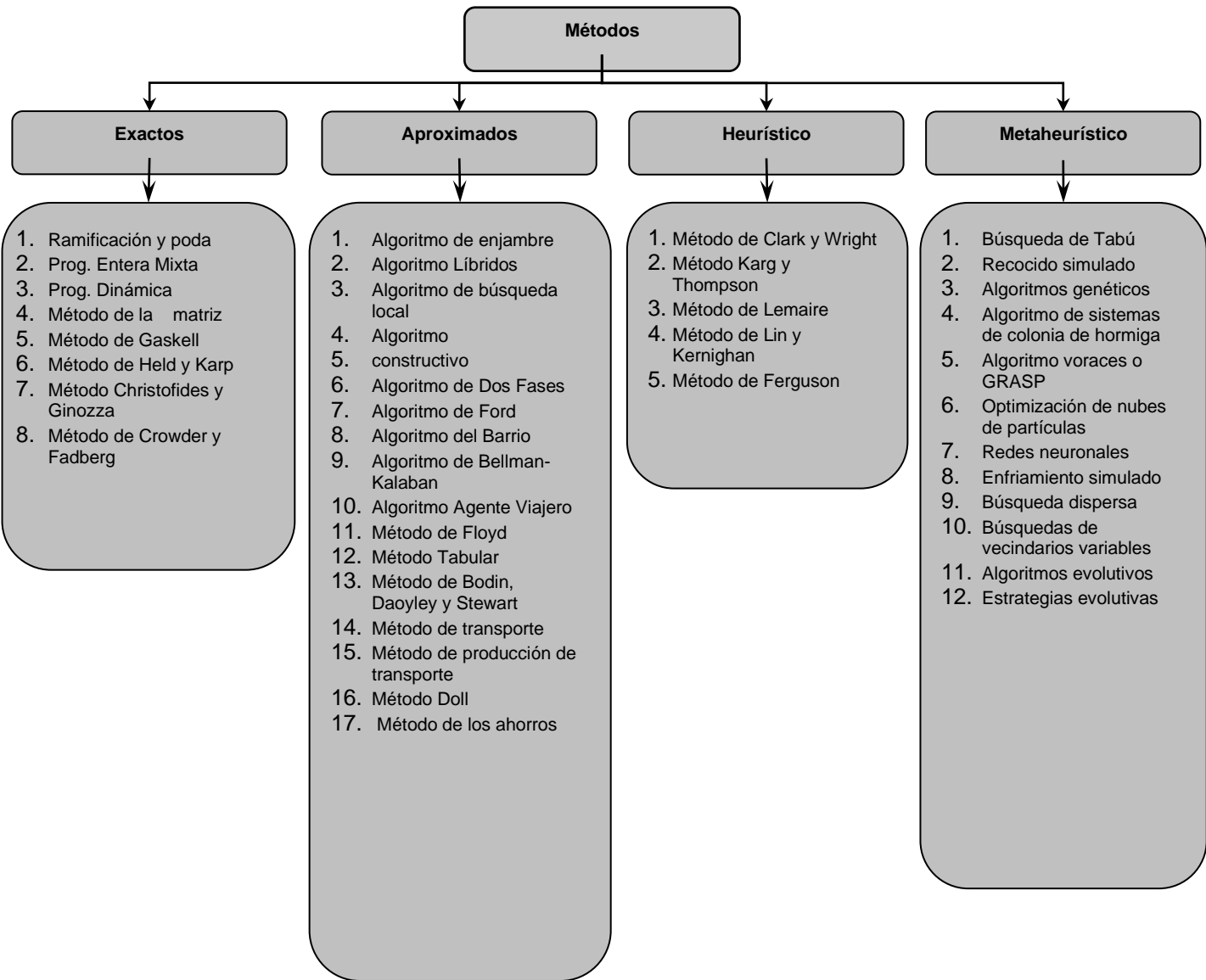


Figura 2. Principales métodos utilizados en el diseño de rutas de distribución.

A continuación se explicarán las principales características de algunos de los métodos más utilizados en la literatura científica consultada y otras fuentes de información a las que se tuvo acceso:

Colonia de hormigas: es precisamente este algoritmo el que a partir de la construcción de las rutas de distribución, busca soluciones cercanas a las estrategias óptimas. Es una técnica evolutiva, de resolución de problemas de optimización combinatoria, introducida por Dorigo y Stützle (2004), como una metaheurística basada en población que unifica, bajo un esquema general. Existen varias técnicas de resolución de problemas de optimización combinatoria que se caracterizan por usar un conjunto de agentes (hormigas artificiales) para construir soluciones en forma incremental, las que siempre encuentran según Gambardella y Dorigo (1997), el camino más corto entre el lugar donde habitan y las fuentes de comida. Esta metaheurística, posee mecanismos de explotación y exploración de caminos, lo cual evita el fácil atrapamiento en óptimos locales. Adicionalmente Campbell y Savelsberg (2003), precisan que debe ser empleada una heurística de inserción eficiente para completar las rutas en caso de que algún cliente quede sin ser evaluado por la Colonia de Hormigas.

Búsqueda de Tabú: en el caso de esta técnica fue propuesta por Glover (1986), es un procedimiento metaheurístico utilizado para manejar un algoritmo heurístico de búsqueda local y así evitar que el proceso se detenga en un óptimo local, este realiza una

exploración a través del espacio de configuraciones delimitando adecuadamente los óptimos locales. Las soluciones se obtienen en un escaso tiempo de cómputo y son suficientemente buenas pero aún no se conoce una demostración formal sobre su buen funcionamiento, así como se requiere de una memoria adaptativa como parte del algoritmo.

Recocido Simulado: según Reinelt (1994), esta metaheurística entrega resultados de muy buena calidad, pero para ello requiere de un largo tiempo de corridos. Constituye un algoritmo altamente dependiente del problema y sujeto a numerosos experimentos, además es un meta-algoritmo probabilístico genético para problemas de optimización global, localizando una buena aproximación al óptimo global de una función dada en un gran espacio de búsqueda. Es un método de búsqueda por entornos caracterizado por un criterio de aceptación de soluciones vecinas que se adapta a lo largo de su ejecución y pertenece a una clase más amplia de algoritmos conocidos como algoritmos de umbral.

Redes neuronales: como su nombre lo indica pretenden imitar a pequeñísimas escala la forma de funcionamiento de las neuronas que forman el cerebro humano. Una red neuronal está compuesta por numerosos conjuntos de procesadores elementales, las neuronas, que interaccionan unas con otras a través de las sinapsis. La neurona a título individual es un dispositivo procesador muy simple. Sus canales de entrada de la información son las dendritas; el soma integra las señales de entrada y proporciona una respuesta, generalmente siguiendo una función de transferencia no lineal; el axón propaga esta respuesta hacia otras neuronas. La intensidad de interrelación entre dos neuronas viene dada por el exceso de peso sináptico que las relaciona: si es positivo, la neurona presináptica excitará a la postsináptica; si es negativo, la inhibirá. Todo ello en mayor o menor medida según su valor absoluto.

Otro de los aspectos importantes de este campo es que hoy día se puede realizar utilizando programas de simulación escritos en lenguajes de alto nivel como Pascal o C++, que modelan la operación de la red y son ejecutados habitualmente sobre otros ordenadores secuenciales convencionales como los PC compatibles, con amplias posibilidades de cálculos en paralelo que trabaja a muy altas velocidades (Serrano Cinca y Martín del Brío, 1993).

Algoritmo genético: los algoritmos genéticos fueron ideados por Holland (1975), y están inspirados en los procesos de adaptación de los seres vivos. Los resultados de los patrones de evolución de los seres vivos han sido sobradamente probados con éxito (a lo largo de la evolución de las especies) y constituyen la base de los algoritmos genéticos. Los algoritmos genéticos pertenecen al grupo de las técnicas evolucionarias, que son aquellas que exploran un conjunto de soluciones y no una sola. De esta forma, se pretende que el proceso de búsqueda no quede atrapado en un óptimo local.

Método de los ahorros (Clarke y Wright, 1964): Es uno de los algoritmos más implementados para resolver el VRP en general. Consiste en realizar una exploración limitada del espacio de búsqueda y dar una solución de calidad aceptable en un tiempo moderado. Se desarrolla partiendo de una solución con dos rutas $(0, \dots, i, \dots, 0)$ y $(0, \dots, j, \dots, 0)$, las cuales pueden ser combinadas generando así una sola ruta $(0, \dots, i, j, \dots, 0)$ según se muestra en la **figura 3**.

El ahorro en distancia se encuentra representado por la ecuación siguiente:

$$S_{ij} = C_{i0} + C_{0j} - C_{ij} \quad (1)$$

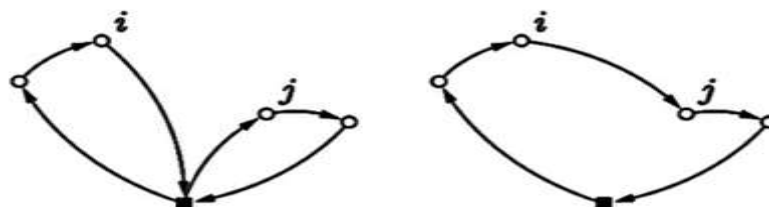


Figura 3. Dos rutas antes y después de ser unidas. Fuente: Lobaina Turiel (2017).

Perspectiva del ruteo de vehículos. Análisis bibliométrico

Dada la importancia que tienen los estudios bibliométricos para evaluar el surgimiento y desarrollo de las actividades propias del conocimiento y conocer la actividad científica de sus investigadores e instituciones, estos son objetivo de varias investigaciones (García Suárez, de León Rosales, Fuentes García y Ferreiro García, 2010; Montilla Peña, 2012; Sánchez Pereyra, Carrillo Romero y Garrido Villegas, 2014).

El estudio se realizó en la hemeroteca en línea *ScienceDirect* hecho motivado por ser de acceso libre, poseer visibilidad internacional y por difundir la producción científica actualizada en diferentes áreas del conocimiento, lo que permite realizar un análisis sobre productividad y colaboración desde este contexto. El análisis se enfocó en el comportamiento de las publicaciones enfocadas en la distribución logística a través de un muestreo comprendido desde el año 2000 hasta el mes de mayo del 2018. Para la recolección de los artículos se utilizó la base de datos *ScienceDirect*, se aplicó el modelo búsqueda avanzada TAK (*Title, Abstract, Key words*) manejando las palabras claves distribución física, ruteo, transportación, redes de distribución, ruteo de vehículos y enrutamientos de vehículos.

Para ello, se tomaron las acciones siguientes: definir los indicadores bibliométricos que fueron utilizados para el análisis de la producción científica sobre ruteo de vehículos, aplicar los indicadores bibliométricos seleccionados y analizar los datos obtenidos a partir del análisis bibliométrico. El conjunto de información analizada proviene de 395 artículos, los cuales son firmados por 1258 autores registrados en 198 revistas, recolectadas durante el mes de mayo de 2018.

El procesamiento digital de la información se realizó con los programas EndNote X7 y Microsoft Excel 2016, permitiendo introducir los datos con el fin de lograr un análisis efectivo. Para el análisis de redes sociales fue empleado el UCINET 6 para *Windows*, obteniéndose una figura, para establecer la red de colaboración autorial, todo ello con la intención de mostrar un análisis descriptivo referente a la producción científica referente al ruteo de vehículos registrada en *ScienceDirect*.

Se presentan los resultados encontrados en la investigación, en la tabla 1, se puede observar que de 1258 autores que realizaron publicaciones relacionadas con los temas de interés y que se encuentran registrados en *ScienceDirect* en el 2018, el autor con mayor productividad es Taniguchi, Eiichi., otros autores predominan con mayor productividad son Yamada, Tadashi; López Joy, Teresita; Acevedo Suárez, José A.

Tabla 1. Productividad autorial

Autor	No. de artículos
Taniguchi, Eiichi	7
Yamada, Tadashi	6
López Joy, Teresita	5
Acevedo Suárez, José A.	5
Timmermans, Harry	4
Arentze, Theo	4
Gómez Acosta, Martha I.	4
Carotenuto, Pasquale	3
González Ricardo, Joaquín José	3
Lao León, Yosvani Orlando	3
Boile, María	3
Pérez Ávila, Mabel Isabel	3
López Martínez, Igor	3
Acevedo Urquiaga, Ana Julia	3
50 autores	2
1190 autores	1

Para la división de la red realizó el análisis *K-Cores*, que permite identificar y separar cada grupo de autores relacionados entre sí y además identifica los nodos por colores según su grado de centralidad que es el número de actores de la red a los cuales un actor está directamente unido. Luego de realizado este análisis se pudo asumir el grado de centralidad como criterio para la división de la red, lo que permitió realizar la Tabla 2 en la que se relacionan los grados existentes en la red, la cantidad de autores por grado y el porcentaje significativo de autores en cada grado, siendo los autores de grado cero solo el 15.38 % del total de autores aspecto que evidencia la tendencia de los autores a publicar en grupos.

Tabla 2. Cantidad de autores por grado de centralidad

Grado	Cantidad de autores	% significativo
grado 0	64	15,38
grado 1	231	55,53
grado 2	268	64,42
grado 3	255	61,30
grado 4	56	13,46
grado 5	18	4,33
grado 6	7	1,68
grado 7	16	3,85
grado 8	18	4,33

Luego de la realización del análisis de *K-Cores* y la división de la red por grados se obtuvieron ocho, cada una con la red de autores según el grado seleccionado, en la figura 4, que muestra a los autores que publican en los grupos de mayor tamaño.

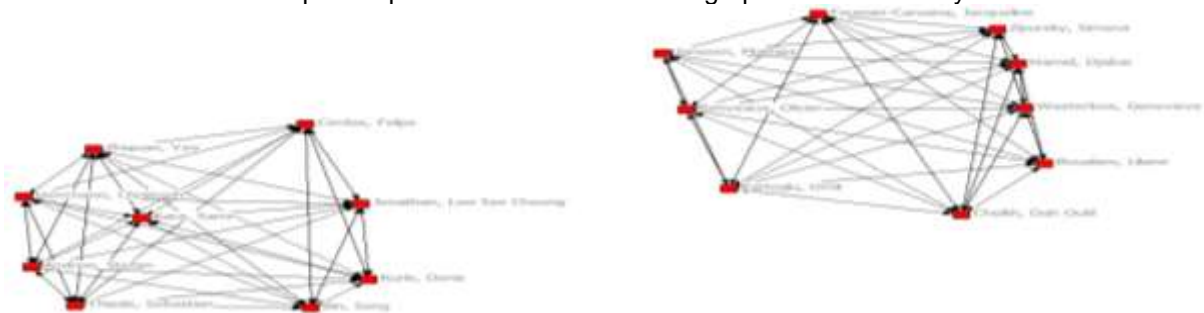


Figura 4. Autores que publican en los grupos de mayor tamaño.

Para el análisis de la productividad de artículos por revista se utilizó la herramienta *Subject Bibliography* una de las herramientas propias del EndNote la cual permite exportar listas de datos de las bases de datos creadas con el programa, esto arrojó que los 395 artículos se encontraban repartidos en 198 revistas, se visualizan en la figura 5 las 13 revistas que presentaron mayor productividad, entre las cuales se encuentran en primer lugar la Revista: *Transportation Research Part E* con 36 artículos seguida de *Annals of Operations Research* con 31 publicaciones, *Computers & Operations Research* y *Supply Chain Management: An International Journal* con 12 y 11 artículos respectivamente siendo estas las revistas más utilizadas por los autores.

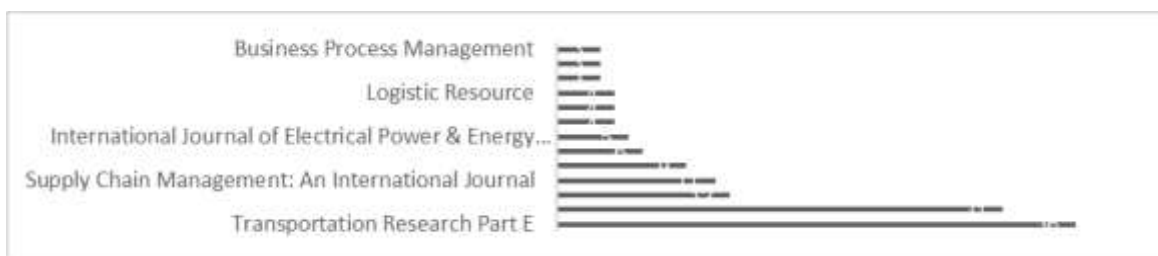


Figura 5. Productividad de artículos por revista.

En la figura 6 se muestra el periodo de tiempo estudiado. El análisis evidencia que antes del año 2000 solo se habían realizado 24 artículos relacionados con el tema en estudio, durante el transcurso del año 2000 se publicó 7 artículos, durante el 2001 se incrementa con 3 artículos, el año 2002 fue el de menor productividad sobre la temática y en 2014 se publican 56 artículos siendo este el año de mayor productividad de los estudiados.

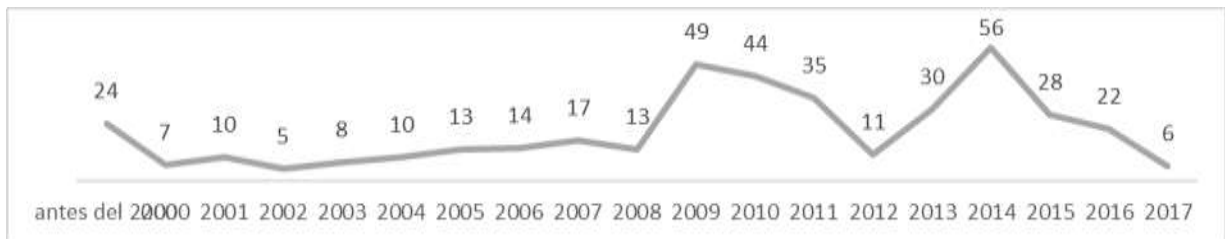


Figura 6. Cantidad de artículos por año.

De los 395 artículos analizados se extrajeron 1120 palabras clave las cuales se clasificaron y ordenaron obteniendo entre estas las de mayor frecuencia y que se muestran en la figura 7.

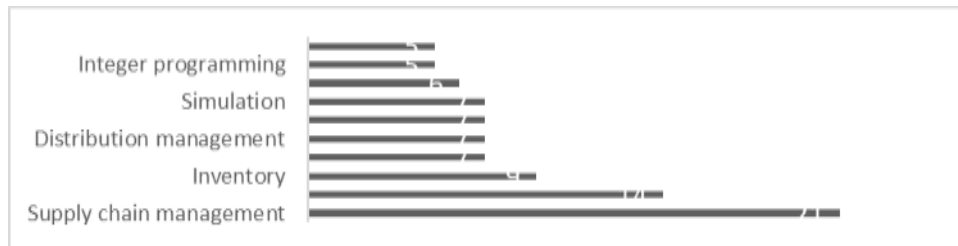


Figura 7. Palabras clave con mayor frecuencia de aparición.

Destacándose en primer lugar las palabras *supply chain management* con un total de 21 repeticiones, le sigue *logistics* con 14 repeticiones, *Inventory* con 9 repeticiones, *Distribution*, *Distribution management*, *Genetic algorithm* y *Simulation* con 7, *Management* con 6, *Integer programming* y *Optimization* con 5 repeticiones y otras 1035 palabras clave con una sola frecuencia.

CONCLUSIONES

1. Con el desarrollo de la ponencia se logró cumplir con el objetivo de la misma al lograr por los autores mostrar una mirada parcial a la actividad de ruteo de vehículos como parte del subsistema de distribución física perteneciente al sistema logístico de empresas comercializadoras.
2. Se logró a través del análisis bibliométrico realizado determinar cuáles son las perspectivas y tendencias en la literatura sobre el ruteo de vehículos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Campbell, A. y Savelsberg, M. (2003). *Efficient insertion heuristics for vehicle routing and scheduling problems*. *Transportation science* (Vol. 38).
- Clarke, G y Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points *Operations Research* (pp. 568-581).
- Dorigo, M. y Stützle, T. (2004). *Ant colony optimization*.
- Estrada, M. (2007). Redes de distribución (pp. 28).
- Gambardella, L. y Dorigo, M. . (1997). *Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem*. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* (Vol. 1).
- García Suárez, Lourdes, de León Rosales, Lázaro, Fuentes García, Sonia y Ferreiro García, Beatriz. (2014). Análisis bibliométrico de los artículos científicos publicados en la Revista Médica Electrónica (2003-2009). *Revista Médica Electrónica*, ISSN: 1684-1824,
- Garza Ríos, Rosario y González Sánchez, Caridad (2004). Un soporte computacional para el diseño de rutas de distribución. *Revista investigación operacional*, 25, 10,
- Glover, F. (1986). *Future paths for integer programming and links to artificial intelligence*. *Computers and operations research* (Vol. 13).
- Henningsson, Mathias, Karlsson, Jenny y Rönqvist, Mikael. (2007). Optimization models for forest road upgrade planning. *J Math Model Algor*, 6, 3-23, DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10852-006-9047-0>,
- Holland, John H. (1975). *Adaptation in natural and artificial systems*.
- Jaque Pirabán, R. (2008). *Métodos aproximados para la solución del problema de enrutamiento de vehículos*. Artículo presentado, Colombia.

- Jiménez Sánchez, J. y Hernández García, S. (2002). Marco conceptual de la cadena de suministro: un nuevo enfoque logístico.
- Lobaina Turiel, Yunisleidy Bárbara. (2017). *Proyección de la red de distribución del Establecimiento Punto de Ventas No. 1 CIMEX Sucursal Holguín*. (Ingeniero), Universidad de Holguín.
- Martínez Delgado, E., Acevedo Suárez, José A. y Lauzardo Rico, J. (2000). Enfoque al cliente en el análisis logístico de la red de producción-distribución de medios biológicos. *Ingeniería Industrial*, XXII(3), 6, ISSN: 1815-5936,
- Molero, María y Salvador, Adela. (s.a.). Resolución de problemas. Método heurístico (pp. 33).
- Moraga Suazo, R. (2003). Meta Raps: un enfoque de solución eficaz para problemas combinatorios. *Ingeniería Industrial*, Recuperado de: http://www.ici.ubiobio.cl/revista/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=23&Itemid=3
- Moreno Pérez, José A. . (2004). Metaheurísticas: Concepto y propiedades. *Universidad de La Laguna*, 67, Recuperado de: <http://webpages.ull.es/users/jamoreno/>
- Olivera, Alfredo. (2004). Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos.
- Prato torres, Ricardo, Suero Pérez, Diego F. y Guzmán Àvila, Osvaldo J. (2015). Ruteo de vehículos desde un Centro de Distribución a una Línea de Supermercados en Barranquilla, Colombia. *Ingeniare, Universidad Libre-Barranquilla*, 10(18), 11-21, ISSN: 1909-2458,
- Qiu, L. y Hsu, J. (1999). Scheduling and routing for AGVS. Technical report. *Center for Advanced Information Systems(CAISTR9926)*,
- Reinelt, G. (1994). *The traveling salesman: Computational solutions for tsp applications. Lectures notes in computer science, springer verlag*.
- Rodríguez Rodríguez, Annia. (2010). *El problema del ruteo de vehículos: teoría y aplicaciones en el sector empresarial cubano*. (Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Industrial), Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Santa Clara, Cuba.
- Serrano Cinca, Carlos y Martín del Brío, Bonifacio (1993). El empleo de redes neuronales. *Revista española de financiación y contabilidad*, XXIII(74), 24.
- Taghaboni, F. y Tanchoco, J. (1995). Comparison of dynamic routing techniques for automated guided vehicles systems. *International journal of production research* 33(26532669),
- Toro Ocampo, Eliana Mirledy, Franco Baquero, John Fredy y Gallego Rendón, Ramón Alfonso. (2016). Modelo matemático para resolver el problema de localización y ruteo con restricciones de capacidad considerando flota propia y subcontratada. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, XVII(3), 357-369, ISSN: 1405-7743, DOI: <http://doi.org/10.1016/j.riit.2016.07.006>,