

ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES ASOCIADAS AL
PROBLEMA DE RUTEO DINÁMICO DE VEHÍCULOS – DVRP.

DANIEL ENRIQUE SÁNCHEZ PINEDA

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA EN LOGÍSTICA INTEGRAL
FACULTAD DE INGENIERIA
BOGOTÁ D.C.
2015

ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES ASOCIADAS AL PROBLEMA DE RUTEO DINÁMICO DE VEHÍCULOS – DVRP.

ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS AND APPLICATIONS ASSOCIATED TO THE DYNAMIC VEHICLE ROUTING PROBLEM – DVRP.

Daniel Enrique Sánchez Pineda
Ingeniero Industrial
Especialización en Gerencia en Logística Integral
u9500639@unimilitar.edu.co

RESUMEN

El Problema del Ruteo Dinámico de Vehículos - DVRP, permite analizar sistemas con la inclusión de una variable de carácter dinámico, ajustando el ruteo en función de nuevas restricciones y comportamientos a nivel de desarrollo de dimensiones temporales y desarrollo constructivo con información en tiempo real. Este problema se ha clasificado en diferentes sistemas, de acuerdo a su aplicabilidad y algoritmos de solución, además del efecto del dinamismo presente. Sin embargo, no todas las características y diferencias frente al ruteo estocástico clásico, han sido mencionadas y resaltadas, debido a su reciente desarrollo, así como la limitada investigación desarrollada. Por tal motivo el presente artículo, plantea la realización de un análisis de las principales características y aplicaciones asociadas a los problemas de ruteo dinámico de vehículos., a través de una revisión bibliográfica con el propósito de brindar información acerca de las características principales, fortalezas respecto al problema clásico y sus aplicaciones para solución. La metodología empleada, incluye una investigación cualitativa, basada en la búsqueda sistemática en bases de datos acerca del DVRP, en últimos cuatro años (2011-2014). Se concluye que el problema de ruteo dinámico de vehículos, permite establecer y analizar sistemas de ruteo, con la inclusión de una variable de carácter dinámico, permitiendo la aplicación y ajuste de heurísticas y metaheurísticas, permitiendo abarcar nuevos sistemas de análisis a nivel logístico. De la misma manera se evidencia que existe un comportamiento variable con tendencia a la baja, en referencia al número de publicaciones relacionadas con el tema, reflejando, un potencial de investigación y desarrollo inexplorado en referencia a la aplicación y ajuste de la temática

Palabras clave

Problema de ruteo dinámico de vehículos, DVRP, flotilla de vehículos, transporte.

ABSTRACT

The Dynamic Vehicle Routing Problem- DVRP allows analyzing systems with the inclusion of a dynamic variable, adjusting the routing in function of new restrictions and behaviors at the development level of temporal dimensions and constructive development with real-time information. This problem has been classified into different

systems, according to their applicability and solution algorithms, besides the current dynamic effect. However, not all features and differences compared to classical stochastic routing have been mentioned and highlighted because of their recent development, as well as limited research developed. Therefore, the present article proposes to carry out an analysis about the main features and applications associated with the dynamic routing vehicle problem, through a literature review with the purpose of providing information about the main characteristics, strengths compared to the classical problem and its applications to solution. The methodology includes a qualitative research based on a systematic search in databases about DVRP in last four years (2011-2014). As main conclusion, is related that the DVRP allows establishing and analyzing routing systems, with the inclusion of a variable dynamic, allowing the application and set of heuristics and metaheuristics, allowing embrace new analysis systems in a logistical level. Likewise, it is evident that there is a variable behavior downtrend, referring to the number of publications related to the theme, reflecting unexplored potential in research and development in reference to the application and setting the theme

Keywords

Dynamic Vehicle Routing Problem, DVRP, vehicles fleet, transportation.

INTRODUCCIÓN

El ruteo de vehículos se orienta a la búsqueda de definir y ajustar las rutas de vehículos en carretera, con el fin de lograr establecer y medir, el desarrollo del sistema y sus fallas potenciales. Analizar el impacto de las operaciones realizadas, a partir del problema de ruteo dinámico, es necesario, teniendo en cuenta la capacidad de aplicaciones que tenga la compañía o el sistema analizado. A partir del conjunto de características relevantes que se incluyen en el modelo, es posible desarrollar o habilitar un análisis detallado de sistemas que incluyan este tipo de sistema de transporte.

La gestión de operaciones en situaciones de incertidumbre en transporte se presenta como uno de los temas de mayor relevancia, en relación al ruteo de vehículos, teniendo en cuenta sus características asociadas a la aleatoriedad del impacto y su carácter dinámico.

Las situaciones de aleatoriedad relacionadas con el transporte, son catalogados como variables de nivel dinámico, debido a que tienen la posibilidad de generar impactos, en referencia al cambio en cualquiera de las secciones de cambio. Por tal motivo, es necesario definir esquemas que permitan garantizar la disponibilidad de vehículos para atención de las demandas definidas. Debido a esto, surge la necesidad de presentar una revisión que permita indagar o consultar de formas de aplicación, reunión y generación de un sistema de ruteo, con variables de carácter dinámico

1. MARCO TEORICO

1.1. PROBLEMA DE RUTEO DINAMICO DE VEHICULOS - DVRP

El Problema de Ruteo de Vehículos – VRP, tiene su origen en los años 50's; etapa en la cual Dantzing y Rasmer formulan el modelamiento en torno a una distribución de combustible (Sarmiento Lapesqueur, 2014). Actualmente, es considerado un problema NP-hard, dada la complejidad de su formulación y desarrollo. De manera específica, dentro de este problema se encuentra el Problema de Ruteo Dinámico de Vehículos – DVRP, el cual cuenta con cuatro componentes relevantes a saber, los clientes, los depósitos, los vehículos y el tipo de red a analizar. (Wohlgemuth , Oloruntoba, & Clausen , 2012)

La primera referencia acerca del ruteo dinámico de vehículos proviene de Wilson y Colvin, donde estudiaron un modelo de ruteo tipo DARP, donde la demanda de un cliente, depende de una ruta entre un origen y un destino, introduciendo el concepto de requerimientos inmediatos, destacando el concepto de solicitudes de servicio, que deberán ser atendidas lo más rápido posible. (Allahviranloo, Chow, & Recker, 2014) En el trabajo presentado por Psaraftis en 1988, se definió una variante del problema clásico de VRP, a partir de las dimensiones de tiempos asociadas, especificando que la información puede presentar cambios, después de definir la secuencia o ruta para un vehículo. En primera instancia es necesario definir el grado de dinamismo, dado por el número de solicitudes o puntos de demanda dispuestos en una sección espacio-temporal, donde existirá un conjunto de solicitudes inmediatas, relacionadas con el número total de solicitudes presentes en el sistema. De la misma manera, es posible definir dicho dinamismo, en relación al tiempo de reacción de un vehículo específico ante un escenario presentado. (Pillar , Gendreau , Guéret, & Medaglia, 2011)

La fuente más común de dinamismo catalogada en los sistemas de ruteo, más específicamente durante una operación, pueden ser la demanda de bienes o servicios. Se define que antes de que un vehículo deje el depósito en un tiempo inicial, es necesario establecer una ruta de solicitudes estáticas, pero su vez permitir redefinir dicha ruta en tiempo real, teniendo en cuenta el factor de requerimiento ante la necesidad. (Zhu & Wang, 2011)

Adicionalmente es posible relacionar al problema dinámico, una serie de aplicaciones para el mismo, diseñadas a partir del tipo de variables no controlables y controlables, La formulación del problema debe considerar una función objetivo a optimizar para tomar decisiones apropiadas de despacho en tiempo real. (Bernal García, Hontoria Hernández, & Aleksovski, 2013) Cuando el problema es dinámico, una función objetivo bien definida deberá considerar el pronóstico de la demanda futura y en consecuencia, de los tiempos en el sistema debido a potenciales decisiones de ruteo. Por otra parte, una buena especificación deberá incluir adicionalmente, predicción de las condiciones de tráfico del sistema para hacer estimaciones más realistas de los tiempos de viaje de los vehículos en el espacio y en el tiempo. Esta fuente de incertidumbre adicional

no ha sido tratada extensivamente en la literatura en el caso de problemas de ruteo dinámico, principalmente debido a la complejidad computacional. (Zeimpekis V. , 2009)

Respecto de modelos de decisión predictivos, en la literatura actual existen datos acerca del campo de ruteo de vehículos y despacho que intenta aprovechar información sobre eventos futuros para mejorar la toma de decisiones (Ichoua et al., 2005; Topaloglu y Powell, 2005). Sáez et al (2007) y Cortés et al. (2007) desarrollaron una formulación analítica para el problema DPDP como un problema de Control Adaptivo Predictivo Híbrido (HAPC) mediante modelos basados en variables de estado, resuelto con algoritmos provenientes de la inteligencia computacional (GA y Clustering Difuso).

Desde una óptica de sistema relacionada con usuario y operador, la definición correcta de una función objetivo predictiva debe incluir el costo del operador y el costo de usuarios a través del nivel de servicio, lo que se traduce en una función de los tiempos de viaje y espera estimados. (Pino, Lozano, Martínez, & Villanueva, 2011) De forma adicional, el considerar el ambiente dinámico de la toma de decisiones, la función objetivo debe incluir el efecto de los potenciales ruteos para la toma de decisiones en tiempo real, cuantificando apropiadamente su impacto en los niveles de servicio y atención de los usuarios y puntos de demanda, relacionados a tales decisiones, así como en los costos adicionales asociados a la operación, en un ambiente de condiciones de tráfico inesperadas y variables de control con carácter dinámico que podrían interferir la operación de los vehículos bajo las reglas de despacho, definiendo adicionalmente un punto de análisis para el control de los sistemas, visto no solo desde su alcance estocástico sino además incluyendo factores de alto impacto a nivel de movilidad. (Fabri & Recht , 2006)

En contraste con el ruteo estático de vehículos se incluyen nuevos elementos que incrementan la complejidad de la toma de decisiones, en algunos contextos tales como la entrega tipo Courier, puede rechazar una solicitud de un cliente. Como consecuencia, una solicitud de servicio puede ser cancelada, debido a que no es posible cumplir con el servicio o porque el costo de servicio es elevado. Dicho proceso de aceptación o negación, ha sido utilizado en múltiples investigaciones y hace referencia a la garantía de servicio. (Sarmiento Lepesqueur, 2014) El ruteo dinámico, permite el re direccionamiento o relocalización de vehículos de una flotilla, con el fin de atender la situación de demanda de mayor cercanía, con el fin de generar los ahorros más representativos. Sin embargo por tal motivo, es necesario manejar un esquema de conocimiento en tiempo real acerca de la posición del vehículo y tener la capacidad de comunicarse rápidamente con los conductores, con el fin de reasignar un nuevo destino. (Farid Ghannadpoura, Noori , & Tavakkoli-Moghaddam, 2013)

De la misma manera se resalta que la función objetivo del ruteo dinámico, habitualmente difiere, teniendo en cuenta que un ruteo habitual incluye únicamente el minimizar el costo de ruta, el DVRP incluye o contempla otras nociones, tales como nivel de servicio, número de salidas y maximización de utilidad. Además, teniendo en cuenta la noción de respuesta a un cliente, se introduce la definición de tiempo de

respuesta, asociado a la reducción de las demoras, en relación a las llegadas y su tasa de servicio. (Musolino, Polimeni, Rindone, & Vitetta, 2012)

El dinamismo en el DVRP, puede ser definido a partir de niveles, caracterizados habitualmente por 2 variables. La primera de ellas es la frecuencia de los cambios y la segunda la urgencia de las solicitudes. (Dan, Zhu, Li, Sang, & Liu , 2013)

El Problema de Ruteo Dinámico de Vehículos con Ventanas de Tiempo – DVRPTW, se enfoca en la demanda cambiante que se presenta al interior de un sistema de transporte y en donde los requerimientos, deben satisfacerse dentro de una ventana de tiempo definida (Rojas Mejías, 2012). Es decir, el cliente, que para efectos de este estudio ha de llamarse paciente, solo se encuentra disponible para atender el requerimiento en un intervalo de tiempo definido; de lo contrario se verá penalizado económicamente. En el caso de las ambulancias, este tiempo se encuentra condicionado al tiempo de espera con el cual cuenta un paciente para sobrevivir a una emergencia dada. (Hajjam, Creput, & Koukam, 2011)

1.2. DIFERENCIAS ENTRE EL DVRP Y EL VRP.

Los puntos fundamentales de cambio de un ruteo dinámico de vehículos, en referencia al de carácter estocástico son:

- **La dimensión temporal se cataloga como esencial**

En el esquema dinámico el tiempo se considera una variable fundamental, teniendo en cuenta que el planteamiento del esquema de posicionamiento de los vehículos debe poder manejarse en cualquier punto de tiempo definido, así como el control de recepción de las demandas. (Zeimpekis, Tarantilis, Giaglis, & Minis Ioannis, 2013)

- **El problema se considera de carácter abierto**

El problema descrito para un ruteo dinámico, debe ser no limitado, teniendo en cuenta que no se definen rutas cerradas, sino en su lugar caminos flexibles definidos. (Zeimpekis, Tarantilis, Giaglis, & Minis Ioannis, 2013)

- **Información futura es de carácter incierto e impreciso**

En un problema dinámico, la información de cambio futuro no presenta una certeza implícita, sino en su lugar una serie de bases probabilísticas de pronóstico. (Zeimpekis, Tarantilis, Giaglis, & Minis Ioannis, 2013)

- **Los eventos cercanos son más importantes**

Dada la no uniformidad de la información, catalogada para el servidor, en el sistema dinámico, se definen como de mayor importancia los eventos directamente

cercanos de atención, mientras que los eventos a largo plazo se consideran en segunda instancia. (Zeimpekis, Tarantilis, Giaglis, & Minis Ioannis, 2013)

- **Los mecanismos de actualización son esenciales**

La mayor parte de entradas en un problema dinámico de ruteo, se encuentran sujetas a cambios durante la operación y por tal motivo se hace esencial que los mecanismos de actualización se encuentren integrados a los métodos de solución. (Zeimpekis, Tarantilis, Giaglis, & Minis Ioannis, 2013)

- **Secciones de relocalización y re secuenciación deben ser definidas**

En el ruteo dinámico, el factor de nuevas entradas, implica que las decisiones tomadas en torno a soluciones del modelo, se definan como de carácter subóptimo, forzando a generar secciones de relocalización, reasignación o definición de nuevas rutas. (Zeimpekis, Tarantilis, Giaglis, & Minis Ioannis, 2013)

- **Tiempos computacionales rápidos se hacen necesarios**

En el ruteo dinámico, es imperativo obtener soluciones en tiempo real, teniendo en cuenta que el tiempo de corrida, dependerá siempre de las restricciones asociadas, así como de las variables de orden dinámico. (Zeimpekis, Tarantilis, Giaglis, & Minis Ioannis, 2013)

- **Mecanismos para posponer actividades**

Teniendo en cuenta el carácter dinámico, cabe la posibilidad de que para un punto específico, se involucre la necesidad de posponer la atención, teniendo en cuenta que se ubica en condiciones desfavorables u otras demandas tienen mayor peso de atención. (Zeimpekis, Tarantilis, Giaglis, & Minis Ioannis, 2013)

- **Función objetivo diferencial**

Teniendo en cuenta el carácter de flexibilidad involucrado, no es posible definir un sistema lineal, sino en su lugar contemplar la posibilidad, de manejar o asumir funciones de carácter No lineal, con el fin de contemplar factores tales como la posposición. (Zeimpekis, Tarantilis, Giaglis, & Minis Ioannis, 2013)

- **Restricciones de tiempo diferenciales**

Las restricciones enfocadas a factores de tiempo, son consideradas en un mayor nivel de flexibilidad, teniendo en cuenta que existe un sistema de peso de atención, donde se busca garantizar las demandas inmediatas permitiendo posponer demandas adicionales. (Zeimpekis, Tarantilis, Giaglis, & Minis Ioannis, 2013)

- **Flexibilidad en la flotilla de vehículos**

La calidad del servicio puede variar, respecto al total de vehículos disponibles para atender las demandas en tiempo real, teniendo en cuenta que los vehículos pueden incurrir en demoras asociadas al cambio a nivel de inmediatez a suplir. (Zeimpekis, Tarantilis, Giaglis, & Minis Ioannis, 2013)

- **Sistemas de colas deben ser considerados con mayor importancia**

Teniendo en cuenta, que el cambio presentado a niveles de demanda en tiempo real, puede ser un factor que permita combinar el análisis de ruteo, con los modelos de teoría de colas, en busca de brindar un sistema de datos adicional al modelo. (Zeimpekis, Tarantilis, Giaglis, & Minis Ioannis, 2013)

Pocas investigaciones se llevaron a cabo en el ruteo dinámico, desde la obra de Psaraftis en 1980 y finales de 1990. Sin embargo, en última década ha visto un renovado interés por esta clase de problemas, con las técnicas de solución que van desde la programación lineal a metaheurísticas. Esta sección presenta las principales contribuciones en este campo, y se remite al lector a las opiniones, los libros, y cuestiones especiales por Gendreau y Potvin, Ghiani et al., Goel, Ichoua, Ichoua et al, Jaillet y Wagner, Larsen et al., y Zeimpekis et al., para complementar nuestra opinión. (Pillac, Guéret, & Medaglia, 2012)

1.3. ENFOQUES DEL DVRP

Esta sección presenta los enfoques que han tenido éxito aplicados al ruteo dinámico, en ausencia de información estocástica. En este contexto, la información crítica se revela con el tiempo, lo que significa que la instancia completa sólo se conoce al final del horizonte de planeación. Como consecuencia, los métodos exactos sólo proporcionan una solución óptima para la situación actual, pero no lo hacen de garantía que la solución seguirá siendo óptima una vez que los nuevos datos se encuentra disponible. Por lo tanto, los enfoques de mayor dinamismo se basan en heurísticas, que permitan calcular rápidamente una solución a la situación actual del problema. Los enfoques para los problemas de ruteo dinámico de vehículos y determinístico se pueden dividir en dos categorías: los basados en reoptimización periódica y los basados en reoptimización continua. (Pillac, Guéret, & Medaglia, 2012)

1.3.1. Reoptimización periódica

El primer enfoque de reoptimización periódica es debido a Psaraftis, con el desarrollo de un enfoque de programación dinámica. Su investigación se centra en el DARP y consiste en la búsqueda de la ruta óptima cada vez que una nueva petición se conoce. El principal inconveniente de programación dinámica es el problema de dimensionalidad, lo que impide su aplicación a grandes instancias. (Pillac, Guéret, & Medaglia, 2012)

De manera más general, los enfoques de reoptimización periódica comienzan al iniciar el día con una primera optimización que produce un conjunto inicial de rutas. Luego, un procedimiento de optimización, resuelve periódicamente un problema estático correspondiente al estado actual, ya sea siempre que los cambios en los datos estén disponibles, o en intervalos fijos de tiempo - denominado épocas de decisiones o intervalos de tiempo. La ventaja de reoptimización periódica es que puede basarse en algoritmos desarrollados para el ruteo estático, para el cual es extensa la investigación que se ha llevado a cabo. El principal inconveniente es que toda la optimización debe realizarse antes de actualizar el ruteo plan, aumentando así las demoras para el despachador. (Pillac, Guéret, & Medaglia, 2012)

Yang se dirigió a la carga de un camión PDP en tiempo real, en el que una flota de camiones tiene que atender las solicitudes de transporte de punto a punto, que se registran dinámicamente. Supuestos importantes son que todos camiones sólo pueden manejar una solicitud a la vez, sin posible sobrecarga y viajan a la misma velocidad constante. Los autores proponer MYOPT, un enfoque horizonte rodante basado en un programa lineal (LP) que se resuelve siempre que llega una nueva petición. A lo largo de la misma línea de programación lineal, Chen y Xu diseñó un dinámico algoritmo de generación de columnas (DYCOL) para el D-VRPTW. (Pillac, Guéret, & Medaglia, 2012)

Los autores proponen el concepto de épocas de decisiones sobre el horizonte de planeación, que son las fechas en que el proceso de optimización se ejecuta. La novedad de su enfoque se basa en la generación dinámica columnas de un modelo de configuración de partición, utilizando columnas de la anterior época de decisión. Los autores compararon DYCOL con una generación de columnas tradicional, sin límite de tiempo (COL). Los resultados computacionales basados en el punto de referencia dado por Salomón demuestran que DYCOL produce resultados comparables en términos de la función objetivo, pero con tiempos de funcionamiento limitados a 10 segundos, a diferencia de las varias horas consumidas por COL. (Pillac, Guéret, & Medaglia, 2012)

Montemanni desarrolló un Sistema de Colonia de Hormigas (ACS) para resolver el D-VRP. Similar a Kilby, su enfoque utiliza segmentos de tiempo, es decir, que dividen el día en períodos de igual duración.

Una petición que llega durante un segmento de tiempo, no se maneja hasta el final del periodo tiempo, así el que la solución del problema sólo considera las solicitudes conocidas desde el principio, durante un segmento de tiempo. Por lo tanto, la optimización se ejecuta estáticamente e independiente durante cada sección tiempo. La principal ventaja de esta partición es que el tiempo computacional es similar para cada segmento de tiempo. Esta disertación también es posible gracias a la naturaleza de las solicitudes, que nunca son urgentes, y pueden ser pospuestas. Una característica interesante de su enfoque es el uso de la traza de feromona, para transferir características de una buena solución para el siguiente segmento de tiempo.

Un enfoque similar también fue utilizado por Gambardella y Rizzoli (Pillac, Guéret, & Medaglia, 2012)

1.3.2. Reoptimización continua

Los enfoques de reoptimización continua llevan a cabo la optimización de todo el día y mantener la información sobre las buenas soluciones en una memoria adaptativa. Siempre que los datos se encuentren disponibles, son agregados a la información de la memoria para actualizar el ruteo actual. La ventaja es que la capacidad computacional se maximiza, posiblemente a expensas de una implementación más compleja. Vale la pena señalar que, debido a la ruta actual está sujeta a cambios en cualquier momento, los vehículos no conocen su próximo destino hasta que terminen el servicio de una solicitud. (Pillac, Guéret, & Medaglia, 2012)

La primera aproximación reoptimización continuo se debe a Gendreau con la adaptación del marco paralelo de búsqueda tabú (TS) introducido por Taillard a un problema D-VRPTW en la operación local de servicios de correo rápido de larga distancia. Su enfoque mantiene un grupo de buenas rutas - la memoria de adaptación - que se utiliza para generar soluciones iniciales para un TS. La búsqueda paralela se realiza mediante la partición de las vías de la solución actual, son optimizados como hilos independientes. (Pillac, Guéret, & Medaglia, 2012)

1.4. APLICACIONES DEL DVRP

Se presenta a continuación un esquema de las principales aplicaciones asociadas a DVRP, respecto al periodo entre 2011 y 2014, con el fin de indicar el algoritmo, heurística o metaheurística de mayor aplicabilidad y su orientación con el problema. Se aprecia en la tabla 1 que presenta dichas aplicaciones, que la metaheurística de mayor relación, con el DVRP, es la colonia de hormigas – ACO por sus siglas en ingles.

Tabla 1. Aplicaciones de los sistemas de ruteo dinámico de vehículos – DVRP.

TRABAJO	SISTEMA	APLICACIÓN	TEMÁTICA
(Mostepha R. Khouadjia, 2012)	DVRP	PSO y VNS	Aplicación de optimización combinatorial orientada a DVRP.
(Michalis Mavrovouniotis, 2014)	DVRP	ACO	Optimización por colonia de hormigas orientada a DVRP dados por casos.
(Tsai-Yun Liao, 2011)	DVRP	Búsqueda Tabú	Implementación de la búsqueda tabú con programación orientada a objetos en DVRP.
(Canhong Lin, 2014)	DVRP	DSS	Diseño de un sistema de soporte logístico a una operación Courier con DVRP.
(Francesco Ferrucci, 2013)	DVRP	Búsqueda Tabú	Búsqueda tabú aplicada a la entrega de bienes urgentes con DVRP.
(Hong, 2012)	DVRPTW	LNS	Aplicación de LNS a un problema DVRP con ventanas de tiempo.
(Victor Pillac, 2012)	DVRP	DSS	Aplicación de arquitecturas computacionales para desarrollo de un DSS basado en DVRP
(Mariko Okude, 2014)	DVRP	Hierarchical traffic	Desarrollo de un sistema DVRP basado en el esquema de tráfico en aumento.
(Elhassania, Solving the dynamic Vehicle Routing Problem using genetic algorithms, 2014)	DVRP	Algoritmos genéticos	Aplicación de algoritmo genético asociado al DVRP, teniendo en cuenta la población y demandas dinámicas
(Maciejewski, The influence of multi-agent cooperation on the efficiency of taxi dispatching, 2014)	DVRP	Cooperación multiagente	Despacho de taxis asociado a un enfoque cooperativo en un sistema DVRP.

(Xiong, 2013)	DVRP	nTSP	Optimización en tiempo real a partir de nTSP en un sistema DVRP.
(Elhassania, A new hybrid algorithm to solve the vehicle routing problem in the dynamic environment, 2013)	DVRP	ACO + LNS	Aplicación de un algoritmo híbrido con el fin de incrementar la efectividad en un sistema DVRP
(Dan B. Z., 2013)	DVRP	EMD	Aplicación de DVRP orientado al despacho de materiales de emergencia – EMD.
(Quan, 2013)	DVRP	Ready time - deadline	Aplicación en entregas y recogidas con una programación en tiempo real de un sistema DVRP
(Okulewicz, 2013)	DVRP	Particle swarm optimization - PSO	Aplicación del PSO a un sistema DVRP orientado a la asignación de rutas por cliente.
(Mavrovouniotis, Dynamic vehicle routing: A memetic ant colony optimization approach, 2013)	DVRP	ACO	Uso del algoritmo ACO para verificar los sistemas de adaptación presentes en un DVRP.
(Yu, 2013)	DVRP	ACO	Aplicación de algoritmo ACO en un sistema DVRP con multideposito.
(Abdallah, 2013)	DVRP	Algoritmo genético	Minimización de costos de viaje, a partir del ajuste de un algoritmo genético en ACO.
(Xu, 2013)	DVRPTW	Algoritmo de vecindades	Aplicación de DVRP con ventanas de tiempo, con vecindades, buscando optimizar factores tipo cluster.
(Mavrovouniotis, Ant colony optimization with memory-based immigrants for the	DVRP	ACO	Aplicación de ACO, en cambios cíclicos de información, presentes en un sistema DVRP.

dynamic vehicle routing problem, 2013)			
(Maciejewski, Towards multi-agent simulation of the dynamic vehicle routing problem in MATSim, 2012)	DVRP	Simulación multiagente	Se presenta un sistema de múltiples transportes, ajustado por simulación multiagente en DVRP.
(Mavrovouniotis, Ant colony optimization with immigrants schemes for the dynamic vehicle routing problem, 2012)	DVRP	ACO	Adaptación de ACO a DVRP, con factores de tráfico asociados.
(Wang, 2011)	DVRP	Algoritmo de inteligencia eficiente	Desarrollo de un modelo conjunto de ACO y algoritmos evolucionarios en DVRP.

Fuente: Autor.

2. METODOS Y MATERIALES

La metodología desarrollada será de carácter sistemático, donde en primera instancia se determinaron las características asociadas a la investigación, estableciendo una perspectiva de carácter cualitativo, que brinda pautas para el desarrollo de un método deductivo, que garantizara la especificación de lineamientos en los sistemas que relacionen el problema de ruteo dinámico de vehículos. La investigación se clasifica como descriptiva, permitiendo definir las principales características y aplicaciones de los sistemas analizados. (Ruiz Olabuénaga, 2010) & (Cegarra Sánchez, 2011).

El objetivo principal de la revisión literaria planteada, es el de analizar las principales características y aplicaciones asociadas a los problemas de ruteo dinámico de vehículos – DVRP, caracterizando sus factores e importancia a nivel de desarrollo en los sistemas de transporte. La literatura presentada en este documento, corresponde a un resumen de artículos y publicaciones que fueron seleccionadas a partir del proceso de revisión estructurada y sistemática.

La revisión consiste en utilizar las fuentes de información apropiadas para realizar la búsqueda, iniciando con la definición del periodo de tiempo, que para este caso será entre el año 2010 y 2014. La segunda parte incluye la definición de palabras clave para efectuar una búsqueda bibliográfica efectiva, entre las que encontramos, ruteo dinámico de vehículos, DVRP y dinamismo en ruteo, de las cuales fueron encontradas 907, 491, 141 de publicaciones respectivamente.

Se establecerá una base de datos como fuente de información, desarrollada a partir de todos los documentos recolectados, que sean acordes al tema planteado. Una vez se tienen definidas las fuentes, se realizara la respectiva revisión de conceptos, con el fin de desarrollar una revisión robusta de características, aplicaciones y apartes de solución de la temática DVRP.

Posteriormente, se procederá a clasificar los artículos que se ajustan a los parámetros de la investigación propuesta. Se analizarán los resultados obtenidos, con el propósito de identificar los criterios comunes, para finalmente realizar las conclusiones y recomendaciones para investigaciones futuras.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A partir del desarrollo del marco teórico fue posible identificar que el problema de ruteo dinámico de vehículos - DVRP, presenta una serie de esquemas que permiten establecer y analizar sistemas de ruteo que presentan una variable de carácter dinámico, que tiene participación activa en el sistema. En relación con el ruteo clásico, DVRP presenta una serie de fortalezas entre las cuales se aprecie, que el control de la información en tiempo real y la inclusión de parámetros de control adicionales, son las fortalezas que hacen del DVRP, un sistema robusto de carácter complejo. Por esta

razón, permite la aplicación y ajuste de heurísticas y metaheurísticas, desarrollando nuevos sistemas de análisis a nivel logístico. En relación a las principales aplicaciones asociadas a DVRP, presentadas y publicadas en el periodo entre 2011 y 2014, se evidencia que la metaheurística de mayor relación, con el DVRP, es la colonia de hormigas – ACO por sus siglas en inglés, con un total de 6 artículos asociados, lo que permite inferir, que dicho algoritmo de inteligencia artificial, presenta un esquema que permite brindar una solución ajustada y optimizada a escenarios con DVRP.

A partir de la búsqueda específica realizada en bases de datos, se ha evidenciado un comportamiento variable con tendencia a la baja, en referencia al número de publicaciones relacionadas con el Problema de Ruteo Dinámico de Vehículos - DVRP, en el período entre 2011 y 2014; presentando un total de 24 artículos. Es posible apreciar dicho comportamiento en la en la Tabla 2, en la cual se muestra el número de publicaciones realizadas en este tiempo, a partir de una base de datos. Es necesario resaltar, que el número de artículos se asocia a una búsqueda específica unificando las palabras clave “Dynamic Vehicle Routing Problem” y “DVRP”, brindando un resultado específico asociado a la temática mencionada, permitiendo filtrar los resultados no asociados a ruteo dinámico.

Tabla 2. N° de publicaciones de DVRP del 2011 al 2014

AÑO	N° DE PUBLICACIONES
2014	3
2013	10
2012	5
2011	6
TOTAL	24

Fuente: Autor.

De la misma manera, en la Figura 1, se muestra un pico en las publicaciones relacionadas con DVRP, para el año 2013, evidenciando que el tema aun presenta un alto nivel de posibilidades para investigación y aplicación por parte de los investigadores en relación a dicha temática.

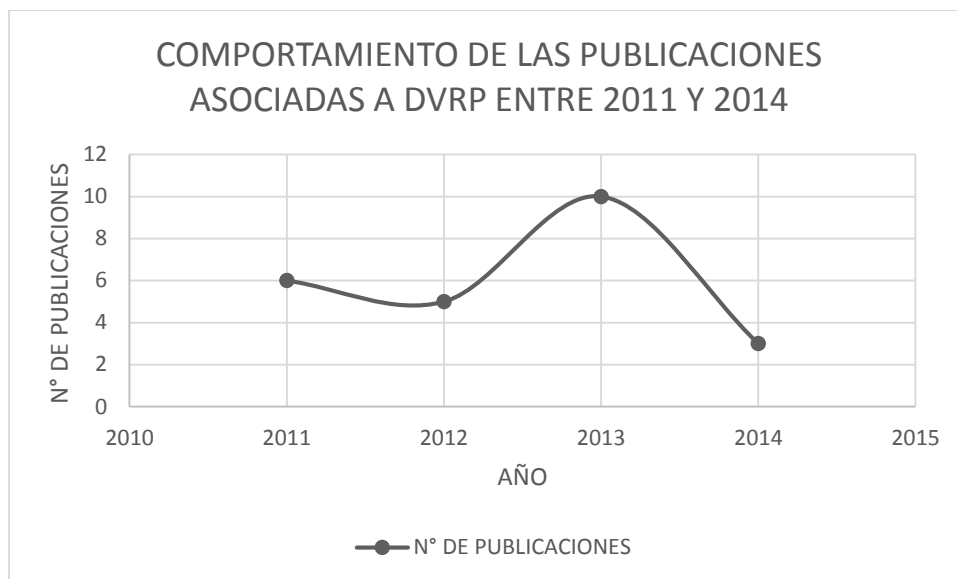


Figura 1. Comportamiento de las publicaciones de DVRP entre 2011 y 2014

Fuente: Autor.

En relación al área de énfasis de las publicaciones, se evidencia que las ciencias computacionales, ingeniería y Matemáticas, representan el mayor nivel de publicaciones, representando el 91% de los artículos. Por otro lado, Negocios, Administración y Contabilidad abarcan un 2% del total. Lo anterior puede ser evidenciado en la Tabla 3 y la Figura 2, que representan al número de publicaciones y su porcentaje de participación, respectivamente.

Tabla 3. N° publicaciones asociadas DVRP por área de énfasis

ÁREA APLICATIVA	PUBLICACIONES	% DE PARTICIPACIÓN
Ciencias computacionales	18	42%
Ingeniería	11	26%
Matemáticas	10	23%
Ciencias de la decisión	3	7%
Negocios, Administración y Contabilidad	1	2%
TOTAL	43	100%

Fuente: Autor

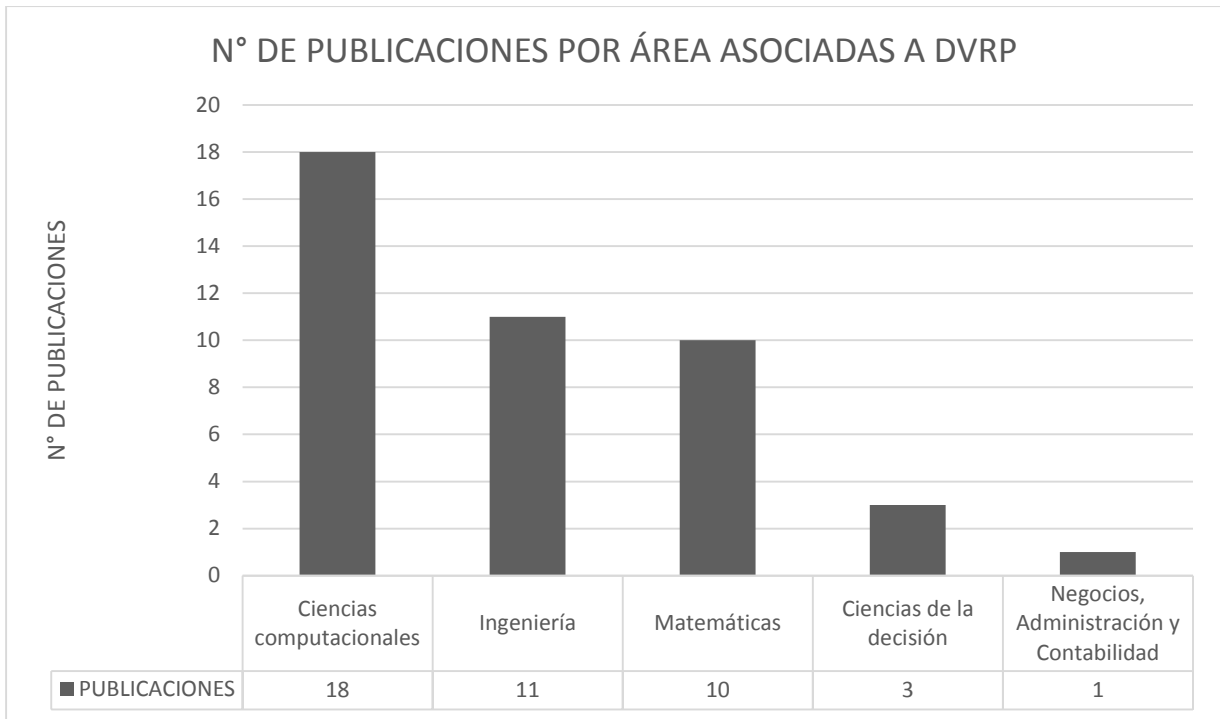


Figura 2. Publicaciones por área asociadas DVRP
Fuente: Autor

4. CONCLUSIONES

El problema de ruteo dinámico de vehículos, permite establecer y analizar sistemas de ruteo, con la inclusión de una variable de carácter dinámico, permitiendo la aplicación y ajuste de heurísticas y metaheurísticas, permitiendo abarcar nuevos sistemas de análisis a nivel logístico. Así mismo, se hace necesario resaltar que sus características a nivel comparativo con un ruteo estocástico clásico, permiten incluir factores de relevancia que permiten abordar nuevas secciones de requerimiento logístico. Esto, se puede evidenciar en el marco teórico, así como las diferentes aplicaciones y métodos de solución.

La búsqueda en las bases de datos, se ha evidenciado un comportamiento variable con tendencia a la baja, en referencia al número de publicaciones relacionadas con el Problema de Ruteo Dinámico de Vehículos - DVRP, en el período entre 2011 y 2014; presentando un total de 24 artículos. Esto refleja, el potencial de investigación y desarrollo inexplorado en referencia a la aplicación y ajuste de la temática seleccionada. Actualmente, las principales áreas en las cuales se realizan estudios son ciencias computacionales, ingeniería y Matemáticas.

Es necesario resaltar, que durante el periodo de tiempo analizado, son mayores los artículos asociados al ajuste de técnicas metaheurísticas para la solución y desarrollo de sistemas tipo DVRP y su aplicación orientada a buscar un análisis de comportamiento efectivo a los escenarios logísticos de alto impacto.

4.1. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

En primera instancia es necesario resaltar la limitada disponibilidad de información, en comparación con otras temáticas, y su consolidación entre las diferentes bases de datos, debido a la limitada cantidad de artículos publicados entre 2011 y 2014. Resaltando la necesidad de eliminar artículos no asociados a ruteo y la realización de búsquedas específicas combinando 2 o más palabras clave.

4.2. RECOMENDACIONES E INVESTIGACIÓN FUTURA

Se recomienda para la realización de revisiones en el problema de ruteo dinámico de vehículos, desarrollar un comparativo de los escenarios de aplicación del problema y su relación con el tipo de método de solución seleccionado, con el fin de indagar si existe alguna relación de carácter representativo entre dichos, permitiendo definir no solo escenarios abarcados, sino además detectar escenarios donde no se ha dado la aplicación, pero sea posible aplicar el DVRP, como método de sistema.

REFERENCIAS

Abdallah, A. E. (2013). *Using a diversified genetic algorithm to solve dynamic vehicle routing problems*.

Allahviranloo, M., Chow, J., & Recker, W. (2014). Selective vehicle routing problems under uncertainty without recourse. *Transportation Research Part E* 62, 68-88.

Bernal García, J., Hontoria Hernández, E., & Aleksovski, D. (2013). *El problema del enrutamiento de vehículos*. Cartagena, Colombia: Universidad Politécnica de Cartagena.

Canhong Lin, K. C. (2014). *A decision support system for optimizing dynamic courier routing operations*.

Cegarra Sánchez, J. (2011). *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Madrid, España: Díaz de Santos S.A.

Dan, B. Z. (2013). *Dynamic optimization model and algorithm design for emergency materials dispatch*.

Dan, B., Zhu, W., Li, H., Sang, Y., & Liu, Y. (2013). *Dynamic Optimization Model and Algorithm Design for Emergency Materials Dispatch*.

Elhassania, M. J. (2013). *A new hybrid algorithm to solve the vehicle routing problem in the dynamic environment*.

- Elhassania, M. J. (2014). *Solving the dynamic Vehicle Routing Problem using genetic algorithms.*
- Fabri, A., & Recht, P. (2006). *On dynamic pickup and delivery vehicle routing with several time windows and waiting times.*
- Farid Ghannadpoura, S., Noori, S., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2013). *A multi-objective dynamic vehicle routing problem with fuzzy time windows: Model, solution and application.*
- Francesco Ferrucci, S. B. (2013). *A pro-active real-time control approach for dynamic vehicle routing problems dealing with the delivery of urgent goods.*
- Hajjam, A., Creput, J., & Koukam, A. (2011). *Approach for optimized and dynamic medical emergency management.*
- Hong, L. (2012). *An improved LNS algorithm for real-time vehicle routing problem with time windows.*
- Liao, T.-Y., & Hu, T.-Y. (2011). *An object-oriented evaluation framework for dynamic vehicle routing problems under real-time information.* Taiwan.
- Maciejewski, M. N. (2012). *Towards multi-agent simulation of the dynamic vehicle routing problem in MATSim.*
- Maciejewski, M. N. (2014). *The influence of multi-agent cooperation on the efficiency of taxi dispatching.*
- Mariko Okude, E. T. (2014). *Hierarchical Traffic Network for Heuristic Approximation Method of Vehicle Routing Problems.*
- Mavrovouniotis, M. Y. (2012). *Ant colony optimization with immigrants schemes for the dynamic vehicle routing problem.*
- Mavrovouniotis, M. Y. (2013). *Ant colony optimization with memory-based immigrants for the dynamic vehicle routing problem.*
- Mavrovouniotis, M. Y. (2013). *Dynamic vehicle routing: A memetic ant colony optimization approach.*
- Michalis Mavrovouniotis, S. Y. (2014). *Ant algorithms with immigrants schemes for the dynamic vehicle routing problem.*
- Mostepha R. Khouadjia, B. S.-G. (2012). *A comparative study between dynamic adapted PSO and VNS for the vehicle routing problem with dynamic requests.*
- Musolino, G., Polimeni, A., Rindone, C., & Vitetta, A. (2012). *Travel time forecasting and dynamic routes design for emergency vehicles.*
- Okulewicz, M. M. (2013). *Application of particle swarm optimization algorithm to dynamic vehicle routing problem.*

- Pillac, V., Guéret, C., & Medaglia, A. (2012). *An event-driven optimization framework for dynamic vehicle routing*. Bogotá D.C.: Universidad de los Andes.
- Pillar, V., Gendreau, M., Guéret, C., & Medaglia, A. (2011). *Dynamic vehicle routing with anticipation in disaster relief*. Québec.
- Pino, R., Lozano, J., Martínez, C., & Villanueva, V. (2011). *Estado del arte para la resolución de enrutamiento de vehículos con restricciones de capacidad*. Cartagena, Colombia: 5th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management.
- Quan, X. Y. (2013). *Document Dynamic pick-up and delivery vehicle routing problem with ready-time and deadline*.
- Ruiz Olabuénaga, J. (2010). *Metodología de la investigación cualitativa*. Bilbao: Universidad de Deusto.
- Sarmiento Lapesqueur, A. (2014). *Estudio del problema de ruteo de vehículos con balance de carga: Aplicación de la meta-heurística Búsqueda Tabú*. Chía, Colombia: Universidad de la Sabana.
- Tsai-Yun Liao, T.-Y. H. (2011). *An object-oriented evaluation framework for dynamic vehicle routing problems under real-time information*.
- Victor Pillac, C. G. (2012). *An event-driven optimization framework for dynamic vehicle routing*.
- Wang, J. Z. (2011). *Efficient intelligent optimized algorithm for dynamic vehicle routing problem*.
- Wohlgemuth, S., Oloruntoba, R., & Clausen, U. (2012). *Dynamic vehicle routing with anticipation in disaster relief*. Bogotá.
- Xiong, H. (2013). *Flexible nTSP strategy of dynamic vehicle routing problems*.
- Xu, Y. W. (2013). *Dynamic vehicle routing using an improved variable neighborhood search algorithm*.
- Yu, B. M. (2013). *Improved ant colony optimisation for the dynamic multi-depot vehicle routing problem*.
- Yuyan, M., Jiafu, T., & Jing, G. (2013). Split delivery weighted vehicle routing problem: comparison perspective. *Control Conference*, 8436-8440.
- Zeimpekis, V. (2009). *Design and evaluation of a real - time fleet management system for dynamic incident handling in urban freight distributions*.
- Zeimpekis, V., Tarantilis, C., Giaglis, G., & Minis Ioannis. (2013). *Dynamic Fleet Management*.

Zhu, R., & Wang, J. (2011). *Efficient Intelligent Optimized Algorithm for Dynamic Vehicle Routing Problem.*