

# ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE RUTEO DE VEHÍCULOS

YESSICA LICETH VELÁSQUEZ CASTIBLANCO

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

# **ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE RUTEO DE VEHÍCULOS**

## **ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS AND APPLICATIONS OF VEHICLE ROUTING SYSTEMS**

Yessica Liceth Velásquez Castiblanco  
Ingeniera Industrial  
Especialización en Gerencia en Logística Integral  
u9500642@unimilitar.edu.co

### **RESUMEN**

El ruteo de vehículos, permite establecer una estrategia para realizar la distribución adecuada de las mercancías, en los diferentes puntos en los cuales lo desee una organización. Esto se logra, a través del diseño de rutas para una flota de vehículos determinada; ya sea homogénea o heterogénea. El estudio de este problema de ruteo, como ha sido considerado, se ha clasificado en diferentes sistemas, de acuerdo a las condiciones del entorno en el cual se desean aplicar. Sin embargo, no todas las tipologías son conocidas a cabalidad por las organizaciones o investigadores, debido a su reciente desarrollo o su poco nivel de aplicación. Es por ello, que en la presente investigación, se plantea realizar un análisis de las características y aplicaciones de los tipos de sistemas de ruteo de vehículos, a través de una revisión bibliográfica de trabajos previos, con el propósito de brindar información sólida y concisa a futuros investigadores. La metodología empleada, conlleva principalmente a una investigación de tipo cualitativa, en la cual se realizó una búsqueda sistemática en bases de datos del problema planteado de los últimos cinco años. A partir de esto, fue posible establecer que durante este período de tiempo, las publicaciones en este campo, presentaron un incremento de aproximadamente el doble, evidenciando el aumento en el interés por el tema objetivo.

### **Palabras clave**

Problema de ruteo de vehículos, distribución, abastecimiento, flota de vehículos, transporte.

### **ABSTRACT**

The vehicle routing allows to establish a strategy for the proper distribution of goods in different points at which you want an organization. This is achieved through the design of routes to a particular fleet vehicle; either homogeneous or heterogeneous. Studying this routing problem, as has been seen, has been classified into different systems, according to the environmental conditions in which is applied. However, not all types are known at all by the organizations or researchers, due to its recent development or some application level. That is why, in this research, we propose an analysis of the characteristics and applications of the types of systems vehicle routing through a literature review of previous works, in order to provide solid and concise information to future researchers. The methodology used primarily involves qualitative research type, in which a systematic

search was performed in databases of the problem of the past five years. From this, it was possible to establish that during this period, the publications in this field, showed an increase of about twice, showing increased interest in the subject target

## **Keywords**

Vehicle routing problem, distribution, procurement, fleet vehicles, transportation.

## **INTRODUCCIÓN**

En el campo de desarrollo logístico a nivel mundial, se ha hecho notoria la necesidad de generar ventajas competitivas entre los diferentes países y las compañías inmersas en ellos, ya que se ha considerado este enfoque como un apalancamiento en la nueva visión de potencia. Considerando el proceso logístico como la unión entre abastecimiento, producción y distribución, se ha establecido la implementación de estrategias que abarquen la mayor cantidad de operaciones inmersas en estos subprocesos. Uno de los focos relevantes de las últimas décadas, ha sido el transporte, considerando su permanencia en dos de los grandes subprocesos mencionados, como lo son el abastecimiento y la distribución. El transporte, a su vez ha sido ampliamente abarcado a través del ruteo de vehículos; considerando restricciones asociadas a capacidad, tiempos de entrega oportunos y demás criterios implementados por las organizaciones, con el objetivo de brindar satisfacción a sus clientes (Ma, Dong, & Wang, 2010).

El Problema de Ruteo de Vehículos – VRP, permite establecer las rutas que debe seguir una flota de carros, con el propósito de optimizar las variables asociadas al transporte de mercancías o prestación de servicios, tales como costos, distancias, nivel de satisfacción al cliente, entre otros. Es por ello, que a partir del año 1959, ha sido uno de los principales objetivos de estudio de grandes organizaciones y académicos a nivel mundial. Adicionalmente, se ha establecido que el costo de transporte asociado, representa del 10% al 20% del valor total de los bienes o servicios brindados; lo cual ha acrecentado la necesidad de realizar estudios que permitan minimizar dicho valor, generando una reducción consecuente en la estructura de costos global (Bernal García, Hontoria Hernández, & Aleksovski, 2013).

Por otro lado, de acuerdo a la revisión bibliográfica realizada se encontró que los principales artículos de investigación destinados al análisis de VRP, han centrado esfuerzos en definir las variables a considerar en dicho problema y los métodos de solución que han sido utilizados. Sin embargo, se observó que hasta el momento de inicio del presente estudio, no se han abordado temáticas relacionadas con la consolidación de las aplicaciones específicas que los diferentes sistemas de ruteo de vehículos existentes han presentado, es decir los escenarios bajo los cuales han sido empleados.

El establecimiento de las características y aplicaciones de los sistemas de ruteo de vehículos, permite establecer un punto de partida claro, conciso y veraz para futuras investigaciones que deseen realizarse en este campo. De esta manera, los interesados podrán evidenciar una reducción en el tiempo de búsqueda de los parámetros y consideraciones que deben analizar para dar desarrollo a su caso de estudio específico,

a través de la identificación puntual del sistema en el cual se encuentra inmerso. Adicionalmente, se espera que los lectores interesados en profundizar en la temática planteada, a pesar de no realizar investigaciones afines, puedan acudir al presente artículo para adquirir una perspectiva general en relación a los trabajos adelantados por otros investigadores y las condiciones bajo las cuales se establecen esquemas de análisis para este problema.

## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1 PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS – VRP**

El problema de ruteo de vehículos – VRP, por sus siglas en inglés – hace referencia a la asignación adecuada de las rutas de distribución o abastecimiento, a una flota de carros destinada a transportar la mercancía de un punto de depósito a los clientes. Es considerado un problema NP-hard o NP-complejo, ya que el tiempo de solución del algoritmo no se encuentra ligado al tiempo polinomial, por el contrario tiene un comportamiento de tipo exponencial. La historia de su aparición como tema de estudio, se remonta a 1959, año en el cual los doctores Dantzing y Ramster formularon el problema desde la óptica de la distribución del combustible (Sarmiento Lepesqueur, 2014) & (Morais, Mateus , & Noronha, 2014).

Los objetivos principales en general, son obtener el menor costo total asociado a transporte, menor distancia recorrida, menor tiempo de distribución, entre otras variables, sujetas a los requerimientos de las organizaciones o casos de estudio. La flota de vehículos, puede ser de tipo homogénea o heterogénea, de acuerdo a la capacidad; establecida en relación a las unidades que puede transportar, el costo asociado a combustible y mantenimiento, siendo estas iguales o diferentes respectivamente (Rocha Medina, Orjuela Castro, & González La Rota, 2011).

Los componentes generales que se establecen para el estudio de un problema de ruteo, son: los clientes, los vehículos, los depósitos, las restricciones y los objetivos. El cliente, cuenta con una demanda establecida que necesita ser satisfecha por la flota de vehículos; la cual parte y debe regresar al depósito. En relación a este último parámetro, es necesario resaltar que debe someterse a consideración el regreso al depósito de todos los vehículos, asumiendo que estos pueden ser propiedad del conductor. Las restricciones y los objetivos, por su parte, se establecen en relación a la situación objeto de estudio (Pino, Lozano, Martínez, & Villanueva, 2011) & (Lahyani, Khemakhem, & Semet, 2015).

El VRP, se plantea en general como la distribución de una flota de vehículos que parten del depósito, o nodo inicial para cubrir con la demanda de los clientes, representados por nodos o vértices. Los arcos que unen los nodos, pueden estar representados por distancias o costos de transporte fijos y variables principalmente. Las condiciones de capacidad del vehículo, se encuentran relacionadas directamente con la demanda presente en cada nodo o vértice, de tal manera que la suma de las demandas inmersas en los nodos por los que pasa un vehículo no debe ser superior a la capacidad del mismo (Liao & Hu, 2011).

Por otro lado, se han establecido dos tipos de métodos de solución para el problema de ruteo de vehículos. Los métodos exactos y los métodos aproximados. Los algoritmos de ramificación y acotación, son representaciones comunes de los métodos exactos. Sin embargo, expertos aseguran que los métodos aproximados a pesar de no brindar una solución óptima, permiten evaluar una mayor cantidad de variables y plantear escenarios reales. Estos métodos, se clasifican en algoritmos de búsqueda local, algoritmos de dos etapas, algoritmo GRASP y algoritmos evolutivos (Nieto Isaza, López Franco, & Herazo Padilla, 2012).

Adicionalmente, se han empleado otros tipos de métodos, comúnmente conocido como heurísticas, las cuales empezaron a ser desarrolladas a finales del siglo XX. Las heurísticas con mayor nivel de aplicación son búsqueda tabú, algoritmos genéticos, colonia de hormigas, recocido simulado, búsqueda de vecindades y redes neuronales.

Búsqueda tabú, se caracteriza por permitir el paso progresivo de soluciones actualmente buenas a otras mejores. Sin embargo, al no garantizar que la siguiente solución siempre sea la del menor costo; es necesario mantener una memoria de corto plazo. Los algoritmos genéticos, se basan en la teoría de la evolución de Darwin, bajo la cual se establece un estado inicial subóptimo, el cual cambia progresivamente con la calificación que obtienen los individuos (Pillac, Guéret, & Medaglia, 2012) & (Taş, Jabali, & Van Woensel, 2014).

Colonia de hormigas por su parte, basa su estructura en el comportamiento de las hormigas cuando buscan alimento o mecanismos para su conservación. Como es conocido, las hormigas no cuentan con el sentido de la vista; por lo cual requieren depositar una feromona cuando encuentran el alimento. La duración de dicha feromona, se encuentra estrechamente ligada con la calidad de la comida y la longitud del camino. En consecuencia, las hormigas se desplazarán a la fuente con mayor nivel de feromona, la cual se potencializa en razón al trayecto y el tiempo de duración (Li, ZuJun, & Zheng, 2014).

## **1.2 SISTEMAS DE RUTEO DE VEHÍCULOS**

Las variaciones en el planteamiento del problema, tales como los criterios y las restricciones consideradas, han generado el establecimiento de diferentes sistemas.

- CVRP – VRP capacitado: Es la variación básica del VRP, en la cual se establece que el vehículo no puede transportar más de lo que su capacidad de carga le permite y cada ruta inicia y termina en el depósito. Se clasifica en dos tipologías a saber, ACVRP y SCVRP, cuando la matriz de costos asociada es asimétrica o simétrica respectivamente. En el caso del ACVRP, se parte del supuesto que la demanda es determinística, no puede ser dividida o fraccionada, la flota de vehículos es homogénea y están centralizadas en un solo depósito. Algunos autores, establecen que el costo total de una ruta, dado por los costos de viaje y costos extra; no debe superar una cantidad máxima establecida (Daneshzand, 2011) & (Sörensen & Schittekat, 2013).

- MDVRP – VRP con múltiples depósitos: Los almacenes de despacho son superiores a uno, generalmente ubicados de forma geográficamente estratégica. Se establece la premisa de que los clientes y los depósitos se encuentran mezclados, de lo contrario podría ser solucionado como problemas VRP independientes (Lau, Chan, Tsui, & Pang, 2010) & (Salhi, Imran, & Wassan, 2014).
- PVRP – VRP periódico: El horizonte contemplado en el problema es superior a un día. De esta manera, un conjunto de clientes debe ser visitado una o más veces durante un período de tiempo establecido. El objetivo principal, es minimizar la flota de vehículos requerida y el tiempo total recorrido (Cacchiani, Hemmelmayr, & Tricoire, 2014).
- SDVRP – VRP con entrega dividida: La cantidad de vehículos que se encarga de la distribución a un cliente es superior a uno, siempre que el costo total se reduzca. Esta variación surge, debido a que en ocasiones la demanda de un cliente supera la capacidad de un vehículo; por lo que el abastecimiento debe ser realizado por más de uno de estos (Bolduc, Laporte, Renaud, & Boctor, 2010).
- SVRP – VRP estocástico: Una variable o más son de carácter aleatorio, tales como las demandas, el tiempo de aprovisionamiento y la disponibilidad del cliente para atender el abastecimiento (Allahviranloo, Chow, & Recker, 2014).
- VRPPD – VRP con recogidas y entregas simultaneas: Se puede presentar cuando el cliente se encuentra inconforme con la mercancía entregada, por lo que realiza una devolución parcial o total de la misma, generando como principal consecuencia la necesidad de contemplar espacio adicional en el vehículo (Liu, Xie, Augusto, & Rodriguez, 2013) & (Coelho, Munhoz, Haddad, Souza, & Ochi, 2012).
- VRPTW – VRP con ventanas de tiempo: Se establece un intervalo de tiempo en el cual el cliente está dispuesto a recibir el pedido, si la entrega se realiza fuera de dicho período, se genera un costo adicional por espera o retraso. Las ventanas de tiempo, por su parte, pueden ser de carácter blando o duro. En la primera situación, se permite alterar los límites de entrega de la mercancía, sin embargo como consecuencia se genera una penalización que ocasiona un aumento en el costo total. Caso contrario, a las ventanas duras en las cuales no se presenta la opción de entrega fuera del intervalo establecido (Ma X. , 2010) & (Jiang, Ming Ng, Leng Poh , & Meng Teo, 2014).
- VRPB – VRP con red de retorno: El cliente puede demandar o entregar la mercancía, de esta manera se generan dos subconjuntos de clientes al interior de las rutas, los consumidores y los vendedores; ocasionando una distribución mixta, lo cual representa la minimización de costos totales asociados. El supuesto de este modelo, plantea que en cada ruta, las entregas son realizadas antes de cualquier recogida (Yuyan, Jiafu, & Jing, 2013).

- DCVRP – VRP con restricciones de capacidad y distancia: La capacidad de los vehículos es limitada y la longitud de los arcos que se realizan en una ruta, es decir las distancias. En consecuencia, la suma de las longitudes de los arcos, no debe ser superior a una distancia máxima establecida (Tlili, Faiz, & Krichen, 2014).
- OVRP – VRP abierto: En este caso, el vehículo no está obligado a regresar al depósito, una vez haya finalizado su recorrido. Se presenta generalmente, cuando las organizaciones no cuentan con una flota de vehículos propia parcial o totalmente (Marinakis & Marinaki, 2014).
- MFVRP – VRP con flota mixta: La flota de vehículos es homogénea, presentando variaciones en la capacidad y en los costos relacionados al transporte de la mercancía, tales como el combustible, programación y ejecución de mantenimientos (Subramanian, Vaz Penna, Uchoa, & Satoru Ochi, 2012).
- VRPF – VRP difuso: Surge en respuesta a la dificultad para establecer demandas, tiempos de recorrido y ubicación de los clientes desconocidos. De esta manera, se establece el uso de métodos de solución que empleen la teoría de conjuntos difusos (Eksioglu, Volkan Vural, & Reisman, 2009).

Adicional a los sistemas analizados previamente, existen dos variantes en las cuales se da solución al problema de VRP aunado a otro proceso de la cadena de abastecimiento. Estos modelos son Inventory Routing Problem – IRP y Production Routing Problem – PRP. El IRP o Problema de Ruteo de Inventarios, consiste en la distribución reiterada de un bien a un conjunto de clientes distribuidos geográficamente, principalmente con una flota de vehículos de capacidad limitada, desde un único depósito. De esta forma, busca minimizar los costos de distribución y mantener un nivel de inventario, de acuerdo a las restricciones del entorno (Liu & Chen, 2011) & (Vidović, Popović, & Ratković, 2014).

Este problema, es considerado un ejemplo del Vendor Managed Inventory – VMI, conocido en español, como gestión del inventario por parte del proveedor; el cual surge en contraposición al proceso de abastecimiento convencional, en el que el cliente es quien decide dónde, cuánto y cuándo llevar a cabo el suministro. De esta manera, el proveedor es responsable de tomar la decisión acerca de la cantidad de inventario de reposición, además de establecer las fechas en las cuales se va a realizar la entrega correspondiente. En consecuencia, el consumidor debe destinar menos recursos a la gestión de inventarios manteniendo la seguridad de la disponibilidad de productos en el momento requerido. De igual forma, el proveedor mantiene el control del inventario del cliente, al coordinar las entregas; lo cual a su vez le permite optimizar su costo de transporte (Lee & Cho, Contracting for vendor-managed inventory with consignment stock and stockout-cost sharing, 2014), (Hariga, Gumus, Daghfous, & Goyal, 2013) & (Lee & Ren, Vendor-managed inventory in a global environment with exchange rate uncertainty, 2011).

La relación directa con VMI, apoya el aumento en el nivel de servicio al cliente mientras simultáneamente se reduce la incertidumbre en la demanda; al establecerse una integración colaborativa entre el proveedor y el cliente. Lo anterior, genera ventajas asociadas al establecimiento de planes de acción que resulten de mutuo beneficio para las partes involucradas, dado que permite diseñar políticas de abastecimiento, producción y distribución; las cuales son consideradas como las actividades macro dentro de un proceso de suministro (Song & Furman, 2013).

El PRP o Problema de Ruteo de Producción, combina el problema del tamaño del lote o Lot-Sizing Problem – LSP, con el VRP; los cuales han sido ampliamente estudiados de forma separada, de tal forma que los resultados obtenidos resultan óptimos para una sola actividad de la cadena de abastecimiento. Es por ello, que el PRP surge como un intento por optimizar de forma global las actividades de producción, inventario distribución y ruteo. De esta manera, las compañías deben tomar la decisión de realizar el producto en caso de ser requerido y determinar así el tamaño de lote correspondiente. En caso de no presentarse producción, se debe asumir el costo fijo acarreado por el mantenimiento de las instalaciones. Por otro lado, debe considerarse la restricción de la capacidad de producción con la cual se cuenta; partiendo de la premisa que el lote no puede ser superior a este. Adicionalmente, el proveedor, al ser el responsable de la cantidad de inventario que mantiene sus clientes; debe acarrear los costos asociados a su mantenimiento (Armentano, Shiguemoto, & Løkketangen, 2011), (Chen, 2010) & (Piewthongngam, Pathumnakul, & Homkhampad, 2013).

Dadas las anteriores consideraciones, al implementarse el PRP como una estrategia de integración a lo largo de la cadena, se ha comprobado la reducción de los costos de 3 a 20%; en relación a la optimización individual de los procesos asociados a esta. Cabe resaltar, que para dar solución a este problema, se han empleado principalmente búsqueda tabú, heurísticas y metaheurísticas tales como Greedy Randomized Adaptative Search Procedure – GRASP, como se puede evidenciar en la Tabla 1, para este y otros sistemas (Averbakh, 2010).



**Tabla 1.** Aplicaciones de los sistemas de ruteo de inventarios.

<b>Trabajo</b>	<b>Sistema</b>	<b>Área</b>	<b>Temática</b>
(Lysgaard & Wøhlk, 2014)	CVRP - Capacitated Vehicle Routing Problem	Matemática	Minimización de la suma de los tiempos de abastecimiento a los clientes.
(Mirabi, 2014)	MDVRP – Multi Depot Vehicle Routing Problem	Ciencias Computacionales	Creación de un algoritmo híbrido, entre el método de electromagnetismo y recocido simulado.
(Shu, Cheng, Zhang, & Zhou, 2014)	PVRP – Periodic Vehicle Routing Problem	Ciencias Computacionales	Diseño de un algoritmo, que permita dar solución al problema de exceso de cobertura de puntos de interés.
(Silva, Subramanian, & Ochi, 2014)	SDVRP – Split Delivery Vehicle Routing Problem	Ciencias Computacionales	Implementación de la heurística de búsqueda local, para solucionar el problema de demandas divididas considerando una flota limitada e ilimitada.
(Jabali, Rei, Gendreau, & Laporte, 2014)	SVRP – Stochastic Vehicle Routing Problem	Matemática	Diseño de un algoritmo, que permita minimizar la suma de las rutas previstas y el costo total asociado, cuando se presentan demandas estocásticas.
(Barbucha, 2014)	VRPTW – Vehicle Routing Problem with Time Windows	Ingeniería	Creación de un algoritmo de aprendizaje cooperativo, que permita solucionar por etapas el problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo.
(Ćirović, Pamučar, & Božanić, 2014)	VRPF – Vehicle Routing Problem Fuzzy	Ingeniería	Diseño de un modelo de ruteo para operadores logísticos, con base en una red neuronal adaptativa; que permita reducir el impacto ambiental generado por el transporte.
(Wang, Du, & Ma, 2014)	SDVRP – Split Delivery Vehicle Routing Problem	Negocios	Creación de un modelo, que permita establecer soluciones para la logística de emergencia; considerando el tiempo de viaje, costo total y fiabilidad de la entrega, cuando las entregas son divididas.
(Xiao, Zhao, Kaku, & Mladenovic, 2014)	CVRP - Capacitated Vehicle Routing Problem	Ingeniería	Validación del algoritmo de vecindad variable de recocido simulado, al contrastarlo contra 39 casos de ruteo de vehículos capacitado.

**Fuente:** Autor.

**Tabla 1.** Aplicaciones de los sistemas de ruteo de inventarios (continuación).

<b>Trabajo</b>	<b>Sistema</b>	<b>Área</b>	<b>Temática</b>
(Nadzadeh & Hosseini Nasab, 2014)	VRPF – Vehicle Routing Problem Fuzzy	Ingeniería	Diseño de un algoritmo heurístico híbrido, que permita apoyar la toma de decisiones en las actividades de ruteo, cuando la demanda es difusa.
(Anbuudayasankar , Ganesh , Lenny Koh, & Ducq, 2012)	VRPB – Vehicle Routing Problem with Backhauls	Ingeniería	Diseño de tres heurísticas, que permitan minimizar el costo total del enrutamiento y el tiempo recorrido, aplicado a la industria bancaria.
(López Sánchez, Hernández Díaz, Vigo, Caballero , & Molina , 2014)	OVRP – Open Vehicle Routing Problem	Ingeniería	Creación de un algoritmo que permita minimizar el tiempo máximo de permanencia por cliente, bajo condiciones de transporte abiertas, es decir, sin regreso al depósito.
(Almoustafa, Hanafi, & Mladenović, 2013)	DCVRP – Distance and Capacity Constrained Vehicle Routing Problem	Matemática	Diseño de un algoritmo para un problema de ruteo de vehículos, con restricciones de distancia asimétrica y capacidad de transporte limitada.
(Mirzapour & Rekik, 2014)	IRP – Inventory Routing Problem	Ingeniería	Diseño de un modelo de ruteo de inventarios, con múltiple capacidad en la flota de vehículos que permita apoyar la logística verde.
(Nananukul, 2013)	PRP – Production Routing Problem	Ingeniería	Diseño de un algoritmo que permita satisfacer la demanda de los clientes, con capacidad de producción y transporte limitada.

**Fuente:** Autor.

## 2. MÉTODOS Y MATERIALES

La metodología desarrollada es de carácter sistemático, por lo cual se establecieron una serie de pasos a ejecutar. En primer lugar, se determinaron las características relevantes de la investigación a realizar. La perspectiva se estableció de carácter cualitativo, dando paso a un método deductivo; a través del cual se garantizara la especificación de los lineamientos en los sistemas de ruteo de vehículos. Adicionalmente, es de tipo descriptiva, permitiendo fijar las principales características de los sistemas analizados; así como de sus aplicaciones (Ruiz Olabuénaga, 2010) & (Cegarra Sánchez, 2011).

Posteriormente, se planteó la búsqueda de información, con base en los temas planteados a lo largo del proceso de investigación, los cuales fueron: problema de ruteo de vehículos – VRP, sistemas de ruteo de vehículos, aplicaciones de los sistemas de ruteo de vehículos, restricciones empleadas en la optimización de sistemas de ruteo de vehículos y criterios de optimización generalmente analizados en los sistemas de ruteo de vehículos.

La recolección de la información, se realizó a través de la exploración en las siguientes bases de datos: Dialnet Plus, IEEE Xplore, ProQuest, Science Direct y Scopus. Estas bases de datos, permiten tener acceso a estudios realizados por terceros, pero que analizados de forma adecuada, brindan la información científica requerida para establecer un artículo de revisión bibliográfica. En este punto, es necesario resaltar la confiabilidad de los documentos encontrados en las bases de datos, partiendo de la premisa que fueron sometidos a votación por revistas calificadas en el tema.

La selección de la información, se consideró de acuerdo al año de publicación, teniendo como preferencia artículos publicados en los últimos cinco años y a la pertinencia del estudio realizado, es decir, al ajuste apropiado a la temática. Este ajuste se garantizó por medio del ingreso de palabras claves a los buscadores de las bases de datos, de acuerdo a los temas planteados; ingresando los términos “Problema de ruteo de vehículos / Vehicle Routing Problem”, “Clasificación del ruteo de vehículos / Vehicle Routing Classification” o “Aplicación del ruteo de vehículos / Vehicle Routing Application”. En total, se obtuvieron aproximadamente 5.500 artículos.

Una vez obtenidos los artículos de investigación, se procedió a realizar una selección de aquellos que se ajustaran adecuadamente a las características de la investigación propuesta, de acuerdo a los parámetros establecidos anteriormente. Posteriormente, se realizó una clasificación de acuerdo al sistema de ruteo que fue analizado. Con base en estos artículos y su respectiva categorización, se diseñó e implementó una matriz de síntesis, en la cual se evidencien las principales características y aplicaciones de cada uno de los sistemas de ruteo de vehículos, por autor. Posteriormente, se analizaron los resultados obtenidos, con el propósito de identificar los criterios comunes, los cuales permitieron establecer patrones en referencia a dichas características y aplicaciones.

El análisis, se efectuó desde la perspectiva de los sistemas de ruteo empleados y del área en la cual fueron aplicados; permitiendo establecer el comportamiento o tendencia investigativa que se ha presentado a lo largo de los últimos cinco años, para cada uno de estos. Finalmente, se procedió a realizar las conclusiones y recomendaciones para futuros investigadores que deseen estudiar y profundizar el tema.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

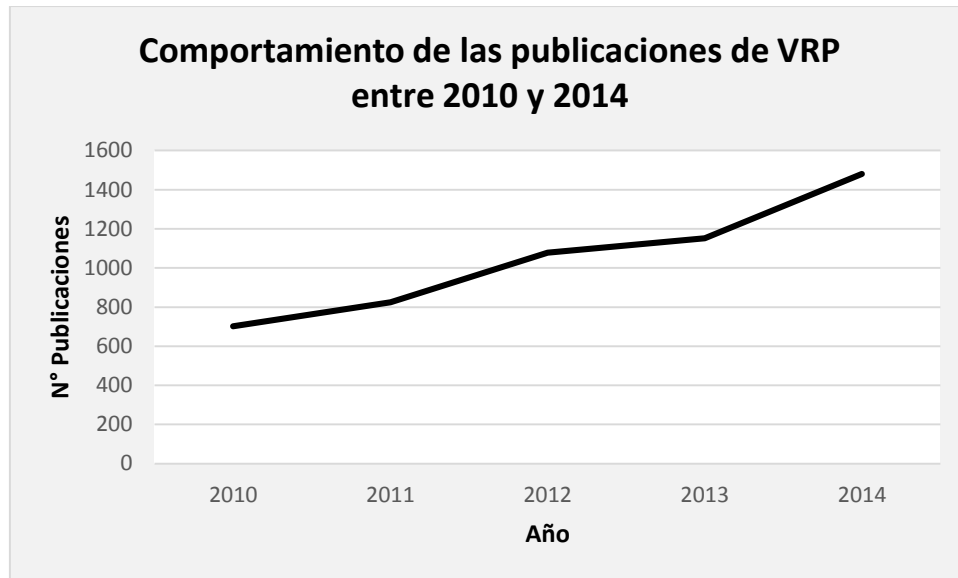
De acuerdo a la búsqueda realizada en las bases de datos, se ha evidenciado un crecimiento en el número de publicaciones relacionadas con VRP, en el período comprendido entre 2010 y 2015; ascendiendo a 5350 el total de artículos. Esto, se ve plasmado en la Tabla 2, en la cual se muestra el número de publicaciones realizadas en este tiempo. Es necesario resaltar, que en el año 2015 la cantidad disminuye, considerando que a la fecha de elaboración del presente estudio, se habían aprobado 114 artículos para su respectiva publicación.

**Tabla 2.** N° de publicaciones de VRP del 2010 al 2015

<b>Año</b>	<b>N° Publicaciones</b>
2010	702
2011	824
2012	1078
2013	1152
2014	1480
2015	114
<b>Total</b>	<b>5350</b>

**Fuente:** Autor.

Adicionalmente, en la Figura 1, se muestra el aumento en las publicaciones relacionadas con VRP, teniendo en cuenta que en el año 2010 se realizaron 702 estudios y en 2014 1480; mostrando un crecimiento en el interés de los investigadores por dar solución a problemas relacionados con este tema.



**Figura 1.** Comportamiento de las publicaciones de VRP entre 2010 y 2014

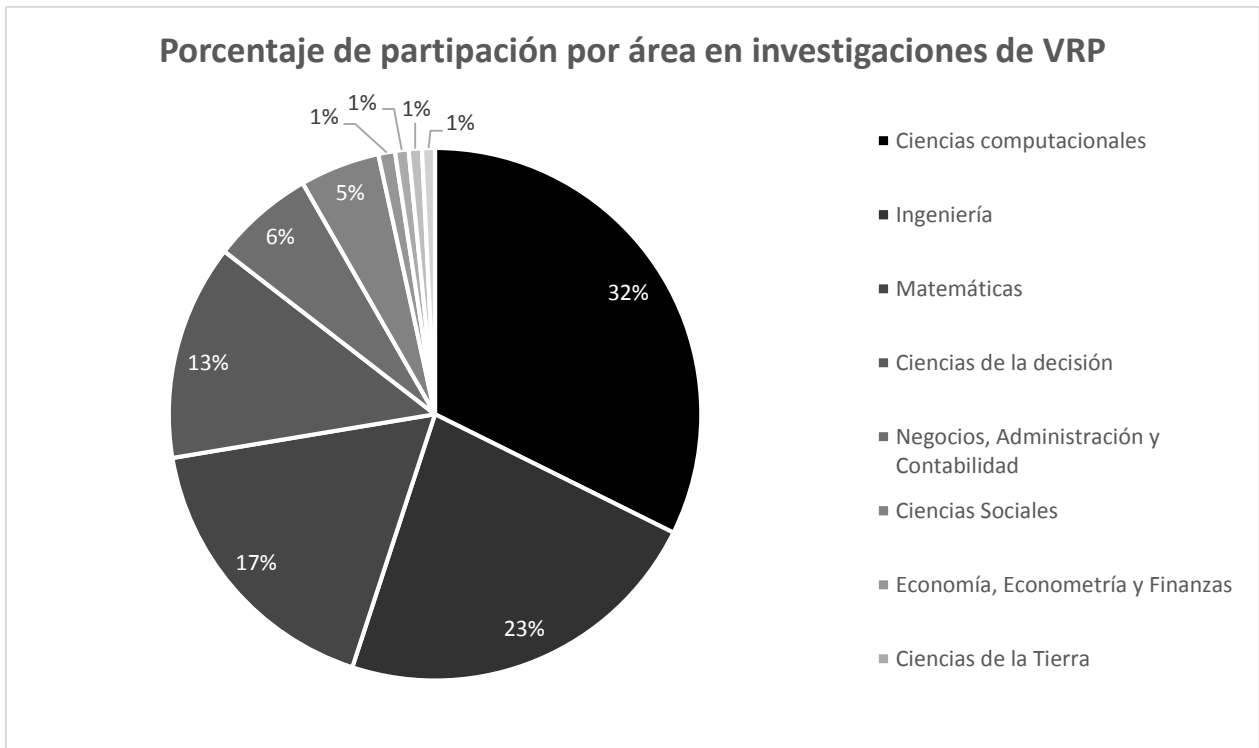
**Fuente:** Autor.

Desde la perspectiva del área de énfasis de los estudios realizados, se encontró que las ciencias computacionales e ingeniería son los enfoques con mayor nivel de publicaciones, al representar el 55% de los artículos publicados. Por el contrario, las ciencias ambientales abarcan el 1% del total. Esto se ve reflejado en la Tabla 3 y la Figura 2, en donde se muestran el número de publicaciones y su porcentaje de participación, respectivamente.

**Tabla 3.** N° publicaciones de VRP por área de énfasis

Área	Publicaciones	% Participación
Ciencias computacionales	1730	32%
Ingeniería	1214	23%
Matemáticas	928	17%
Ciencias de la decisión	701	13%
Negocios, Administración y Contabilidad	334	6%
Ciencias Sociales	260	5%
Economía, Econometría y Finanzas	54	1%
Ciencias de la Tierra	44	1%
Multidisciplinario	43	1%
Ciencias Ambientales	42	1%
<b>Total</b>	<b>5350</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** Autor



**Figura 2.** Porcentaje de participación por área en investigaciones de VRP  
**Fuente:** Autor

Por otro lado, de acuerdo a la revisión de la literatura realizada, se observó que el diseño de modelos y algoritmos, ha marcado una tendencia en el campo de la investigación de VRP. Dentro de estos, el principal objetivo ha sido la reducción de distancias, tiempos de entrega y en consecuencia de los costos totales asociados al proceso de distribución. Sin embargo, tal como se analizó previamente, han surgido nuevos sistemas, en los cuales no sólo se tiene en cuenta la optimización de este proceso; ya que en el IRP y PRP se considera el inventario y la producción como criterio de decisión respectivamente. Adicionalmente, en este tipo de estructuras, han entrado en consideración variables de tipo cualitativas, como lo son el servicio al cliente y alianzas colaborativas; de la mano del VMI. De esta manera, se ha logrado potencializar la relevancia del problema de ruteo de vehículos; como una estrategia integral para las organizaciones; garantizando competitividad a través de la obtención de beneficios económicos, producto de la minimización de costos y relaciones adecuadas con los proveedores y clientes.

#### 4. CONCLUSIONES

El problema de ruteo de vehículos, permite establecer rutas de distribución eficientes; a través del ajuste de algoritmos o heurísticas, brindando de esta manera apoyo al campo de la logística. En consecuencia, en los últimos años se ha evidenciado el aumento de sistemas o tipologías, debido al crecimiento de nuevos requerimientos

logísticos. Estos, pudieron analizarse en el marco teórico, así como las diferentes aplicaciones y métodos de solución empleados.

La búsqueda en las bases de datos, por su parte afirmó el crecimiento en el número de publicaciones que se han realizado entre el año 2010 y 2014, pasando de 702 a 1480, respectivamente. Esto refleja, el interés que ha despertado la temática en los investigadores a nivel internacional. Sin embargo, las principales áreas en las cuales se realizan estudios son ciencias computacionales e ingeniería.

En los últimos años, por ejemplo, han aumentado las investigaciones en VRP difusos y con red de retorno; sistemas que si bien existen hace varias décadas, es hasta hace poco que se han considerado como temáticas de gran importancia en la logística.

#### **4.1 LIMITACIONES DEL ESTUDIO**

A pesar de contar con la disponibilidad de la información actualizada, el principal inconveniente se presentó, al consolidar los artículos entre las diferentes bases de datos, debido a la gran cantidad de artículos publicados entre 2010 y 2014. Resaltando la necesidad de eliminar repeticiones y caracterizar establecer la caracterización de las investigaciones encontradas.

#### **4.2 RECOMENDACIONES PARA INVESTIGACIONES FUTURAS**

Los investigadores que deseen continuar avanzando en el establecimiento de una revisión literaria en el problema de ruteo de vehículos, pueden indagar en los métodos de solución que se han implementado en cada uno de los sistemas establecidos. Esto permitirá a otros actores interesados, encontrar una manera de dar solución al sistema en el cual se encuentran estudiando; a través de la implementación de un algoritmo específico.

### **REFERENCIAS**

- Allahviranloo, M., Chow, J., & Recker, W. (2014). Selective vehicle routing problems under uncertainty without recourse. *Transportation Research Part E* 62, 68-88.
- Almoustafa, S., Hanafi, S., & Mladenović, N. (2013). New exact method for large asymmetric distance-constrained vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 386–394.
- Anbuudayasankar , S., Ganesh , K., Lenny Koh, S., & Ducq, Y. (2012). Modified savings heuristics and genetic algorithm for bi-objective vehicle routing problem with forced backhauls. *Expert Systems with Applications*, 2296–2305.
- Armentano, V., Shiguemoto, A., & Løkketangen, A. (2011). Tabu search with path relinking for an integrated production–distribution problem. *Computers & Operations Research*, 1199–1209.

- Averbakh, I. (2010). On-line integrated production–distribution scheduling problems. *European Journal of Operational Research*, 377–384.
- Barbucha, D. (2014). A cooperative population learning algorithm for vehicle routing problem with time windows. *Neurocomputing*, 210-229.
- Bernal García, J., Hontoria Hernández, E., & Aleksovski, D. (2013). *El problema del enrutamiento de vehículos*. Cartagena, Colombia: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Bolduc, M.-C., Laporte, G., Renaud, J., & Boctor, F. (2010). A tabu search heuristic for the split delivery vehicle routing problem with production and demand calendars. *European Journal of Operational Research*, 122-130.
- Cacchiani, V., Hemmelmayr, V., & Tricoire, F. (2014). A set-covering based heuristic algorithm for the periodic vehicle routing problem. *Discrete Applied Mathematics*, 53-64.
- Cegarra Sánchez, J. (2011). *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Madrid, España: Díaz de Santos S.A.
- Chen, H.-Y. (2010). The impact of item substitutions on production–distribution networks. *Transportation Research Part E*, 803–819.
- Ćirović, G., Pamučar, D., & Božanić, D. (2014). Green logistic vehicle routing problem: Routing light delivery vehicles in urban areas using a neuro-fuzzy model. *Expert Systems with Applications*, 4245-4258.
- Coelho, I., Munhoz, P., Haddad, M., Souza, M., & Ochi, L. (2012). A hybrid heuristic based on General Variable Neighborhood Search for the Single Vehicle Routing Problem with Deliveries and Selective Pickups. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 99 - 106.
- Daneshzand, F. (2011). The vehicle routing problem. *Logistics Operations and Management*, 127-153.
- Eksioglu, B., Volkan Vural, A., & Reisman, A. . (2009). The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Computers & Industrial Engineering*, 1472-1483.
- Hariga, M., Gumus, M., Daghfous, A., & Goyal, S. (2013). A vendor managed inventory model under contractual storage agreement. *Computers & Operations Research*, 2138–2144.
- Jabali, O., Rei, W., Gendreau, M., & Laporte, G. (2014). Partial-route inequalities for the multi-vehicle routing problem with stochastic demands. *Discrete Applied Mathematics*, 121-136.



- Jiang, J., Ming Ng, K., Leng Poh, K., & Meng Teo, K. (2014). Vehicle routing problem with a heterogeneous fleet and time windows. *Expert Systems with Applications*, 3748 - 3760.
- Lahyani, R., Khemakhem, M., & Semet, F. (2015). Rich vehicle routing problems: From a taxonomy to a definition. *Rich vehicle routing problems: From a taxonomy to a definition*, 1-14.
- Lau, H., Chan, T., Tsui, W., & Pang, W. (2010). Application of genetic algorithms to solve the multidepot vehicle routing problem. *Automation Science and Engineering*, 383-392.
- Lee, J.-Y., & Cho, R. (2014). Contracting for vendor-managed inventory with consignment stock and stockout-cost sharing. *International Journal of Production Economics*, 158-173.
- Lee, J.-Y., & Ren, L. (2011). Vendor-managed inventory in a global environment with exchange rate uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 169–174.
- Li, S., ZuJun, M., & Zheng, B. (2014). Dynamic multi-objective location-routing problem in post-earthquake logistics system. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 1515-1520.
- Liao, T.-Y., & Hu, T.-Y. (2011). *An object-oriented evaluation framework for dynamic vehicle routing problems under real-time information*. Taiwan.
- Liu, R., Xie, X., Augusto, V., & Rodriguez, C. (2013). Heuristic algorithms for a vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup and time windows in home health care. *European Journal of Operational Research*, 475-486.
- Liu, S.-C., & Chen, J.-R. (2011). A heuristic method for the inventory routing and pricing problem in a supply chain. *Expert Systems with Applications*, 1447-1456.
- López Sánchez, A., Hernández Díaz, A., Vigo, D., Caballero, R., & Molina, J. (2014). A multi-start algorithm for a balanced real-world Open Vehicle Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 104–113.
- Lysgaard, J., & Wøhlk, S. (2014). A branch-and-cut-and-price algorithm for the cumulative capacitated vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 800-810.
- Ma, W.-m., Dong, D.-d., & Wang, K. (2010). Competitive analysis for the on-line vehicle routing problem. *New Trends in Information Science and Service Science*, 430-435.

- Ma, X. (2010). Vehicle routing problem with time windows based on improved ant colony algorithm. *Information Technology and Computer Science*, 94-97.
- Marinakos, Y., & Marinaki, M. (2014). A Bumble Bees Mating Optimization algorithm for the Open Vehicle Routing Problem. *Swarm and Evolutionary Computation*, 80-94.
- Mirabi, M. (2014). A hybrid electromagnetism algorithm for multi-depot periodic vehicle routing problem. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 509-518.
- Mirzapour, S., & Rekik, Y. (2014). Multi-product multi-period Inventory Routing Problem with a transshipment option: A green approach. *Int. J. Production Economics*, 80-88.
- Morais, V., Mateus, G., & Noronha, T. (2014). Iterated local search heuristics for the Vehicle Routing Problem with Cross-Docking. *Expert Systems with Applications*, 7495-7506.
- Nadizadeh, A., & Hosseini Nasab, H. (2014). Solving the dynamic capacitated location-routing problem with fuzzy demands by hybrid heuristic algorithm. *European Journal of Operational Research*, 458-470.
- Nananukul, N. (2013). Clustering model and algorithm for production inventory and distribution problem. *Applied Mathematical Modelling*, 9846-9857.
- Nieto Isaza, S., López Franco, J., & Herazo Padilla, N. (2012). *Desarrollo y Codificación de un Modelo Matemático para la Optimización de un Problema de Ruteo de Vehículos con Múltiples Depósitos*. Ciudad de Panamá: Tenth LACCEI Latin American and Caribbean Conference.
- Piewthongngam, K., Pathumnakul, S., & Homkhampad, S. (2013). An interactive approach to optimize production-distribution planning. *Int. J. Production Economics*, 290-301.
- Pillac, V., Guéret, C., & Medaglia, A. (2012). *An event-driven optimization framework for dynamic vehicle routing*. Bogotá D.C.: Universidad de los Andes.
- 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.
- Rocha Medina, L., Orjuela Castro, J., & González La Rota, E. (2011). Una revisión al estado del arte del problema de ruteo de vehículos: Evolución histórica y métodos de solución. *Ingeniería*, 35-55.

- Ruiz Olabuénaga, J. (2010). *Metodología de la investigación cualitativa*. Bilbao: Universidad de Deusto.
- Salhi, S., Imran, A., & Wassan, N. (2014). The multi-depot vehicle routing problem with heterogeneous vehicle fleet: Formulation and a variable neighborhood search implementation. *Computers & Operations Research*, 315-325.
- Sarmiento Lepesqueur, 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.
- Shu, L., Cheng, K., Zhang, X., & Zhou, J. (2014). Periodic sweep coverage scheme based on periodic vehicle routing problem. *Journal of Networks*, 726-732.
- Silva, M., Subramanian, A., & Ochi, L. (2014). An iterated local search heuristic for the split delivery vehicle routing problem. *Computers and Operations Research*, 234-249.
- Song, J.-H., & Furman, K. (2013). A maritime inventory routing problem: Practical approach. *Computers & Operations Research*, 657-665.
- Sörensen, K., & Schittekat, P. (2013). Statistical analysis of distance-based path relinking for the capacitated vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 3197-3205.
- Subramanian, A., Vaz Penna, P., Uchoa, E., & Satoru Ochi, L. (2012). A hybrid algorithm for the Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 285-295.
- Taş, D., Jabali, O., & Van Woensel, T. (2014). A Vehicle Routing Problem with Flexible Time Windows. *Computers & Operations Research*, 39-54.
- Tlili, T., Faiz, S., & Krichen, S. (2014). A Hybrid Metaheuristic for the Distance-constrained Capacitated Vehicle Routing Problem. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 779 - 783.
- Vidović, M., Popović, D., & Ratković, B. (2014). Mixed integer and heuristics model for the inventory routing problem. *Int. J. Production Economics*, 593-604.
- Wang, H., Du, L., & Ma, S. (2014). Multi-objective open location-routing model with split delivery for optimized relief distribution in post-earthquake. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 160-179.
- Xiao, Y., Zhao, Q., Kaku, I., & Mladenovic, N. (2014). Variable neighbourhood simulated annealing algorithm for capacitated vehicle routing problems. *Engineering Optimization*, 562-579.

Yuyan, M., Jiafu, T., & Jing, G. (2013). Split delivery weighted vehicle routing problem: comparison perspective. *Control Conference*, 8436-8440.