



Entramado
ISSN: 1900-3803
Universidad Libre de Cali

Escobar, John Willmer
Modelo matemático para la planificación de servicios y programación
de rutas en empresas prestadoras de servicios de control de plagas
Entramado, vol. 13, núm. 1, Enero-Junio, 2017, pp. 72-77
Universidad Libre de Cali

DOI: 10.18041/entramado.2017v13n1.25105

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=265452747006>


- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org



Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Modelo matemático para la planificación de servicios y programación de rutas en empresas prestadoras de servicios de control de plagas

John Willmer Escobar

PhD in Operations Research. Profesor Departamento de Contabilidad y Finanzas Facultad de Ciencias de la Administración, Universidad del Valle - Cali, Colombia. Grupos de Investigación: Operations Research Group Bologna, Solvencia y Riesgo Financiero.  <http://orcid.org/0000-0001-6175-9553>
john.wilmer.escobar@correounivalle.edu.co

RESUMEN

Este artículo aborda el problema de la programación de servicios y planificación de rutas para empresas prestadoras de servicio de control de plagas (CP) considerando la minimización de los costos relacionados con las distancias recorridas por los vehículos usados y el costo del tiempo ocioso de los operarios. El problema considera actividades programadas, fechas de atención no disponibles, capacidad instalada, y datos de demanda previa obtenida de los clientes. La problemática consiste en la programación de los servicios y la planificación de las rutas de atención considerando ventanas de tiempo. En particular, se ha propuesto un modelo de programación lineal entera mixta, que busca mejorar la gestión logística de empresas que pertenecen a este sector. El modelo se ha probado con datos de una compañía colombiana que presta los servicios de CP en las principales ciudades colombianas. Los resultados obtenidos reflejan la importancia y eficiencia de la metodología propuesta como alternativa para la solución de la problemática en cuestión.

PALABRAS CLAVE

Programación de rutas, problema del viajero de negocios, control de plagas, modelo matemático, programación lineal entera mixta.

Mathematical model for the services planning and scheduling of routes on companies that offer services of pest control

ABSTRACT

This paper addresses the problem of scheduling of services and planning of routes for companies which offer the service of pest control (CP) by considering the minimization of costs related to the distance traveled by the used vehicles and the cost of the cost of idle time of operators. The problem considers scheduled activities, dates not available and installed capacity, and data of demand previously provided by the customers. The problem consists of the scheduling and planning of the routes by considering time windows. In particular, it is proposed a mixed integer linear programming model to improve the logistic management process of companies belonging to this sector. The model has been tested with data obtained from a Colombian company that provides the CP services in the main Colombian cities. The results show the importance and efficiency of the proposed methodology as an alternative to the solution of the considered problem.

KEYWORDS

Routes scheduling, travelling salesman problem, pest control, mathematical model, mixed linear and integer model.

Recibido: 18/05/2016 Aceptado: 15/09/2016

<http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25105> Este es un artículo Open Access bajo la licencia BY-NC-SA (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

Cómo citar este artículo: ESCOBAR, John Willmer. Modelo matemático para la planificación de servicios y programación de rutas en empresas prestadoras de servicios de control de plagas. *En: Entramado. Enero - Junio, 2017. vol. 13, no. 1, p. 72-77* <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25105>

Modelo matemático para planeamiento de servicios e programación de rutas no serviço de controle de empresas de pragas

R E S U M O

Este artigo discute o problema do agendamento de serviços e planeamento de rota para o controle de empresas de serviços de pragas (CP), considerando a minimização de custos relacionados com as distâncias percorridas pelos veículos usados e o custo do tempo ocioso de operadores. O problema considera actividades programadas, as datas não importa disponível, capacidade e dados de demanda obtidos a partir de clientes anteriores instalado. O problema é o de serviços de programação e cuidado planeamento da rota, considerando janelas de tempo. Em particular, ele propôs um modelo de programação linear inteira mista, que visa melhorar as empresas de gestão logística pertencentes a este sector. O modelo foi testado com dados de uma empresa colombiana, que fornece serviços de CP nas principais cidades colombianas. Os resultados mostram a importância e eficiência da metodologia proposta como uma alternativa para resolver o problema em questão.

PALAVRAS-CHAVE

Planejamento de rotas, problema viajante de negócios, controle de pragas, modelo matemático, programação linear inteira mista.

Introducción

En la actualidad, las compañías colombianas prestadoras del servicio de control de plagas (CP) generalmente desarrollan la planificación de necesidades y programación de rutas de servicios de manera manual. Esta tarea normalmente es realizada por un coordinador de servicios, quien adicionalmente se encarga de las ventas, el proceso de atención a los clientes, la asignación de operarios y la supervisión diaria de cobro y cartera (Daniella Noguera Botero y Francisco Javier Mateus, 2014). Al ser un cargo con una gran cantidad de tareas, la probabilidad de incumplimiento en alguna de ellas es alta. Por lo tanto, no es posible asegurar un buen funcionamiento en las actividades de programación de servicios y generación, secuenciación y asignación de rutas para la prestación de servicios. Cualquier decisión relacionada con la programación de servicios y planificación de rutas bajo este escenario será un experimento riesgoso que podría generar grandes pérdidas para cualquier compañía de este sector. Los efectos más significativos de una mala planificación de servicios y programación de rutas son:

- **Reducción en los ingresos de las compañías.** Este aspecto está ligado a la pérdida progresiva de clientes potenciales a lo largo de los años.
- **Pérdida de clientes por servicios adicionales.** En particular, cuando un cliente utiliza un servicio de CIP, existe una alta probabilidad de que use otros servicios que ofrecen estas compañías. Incumplimientos y retrasos en la prestación de servicios CP generarían una pérdida de clientes por servicios adicionales.
- **Pérdida de reputación en el mercado.** La cantidad de clientes perdidos y la frecuencia con la que se pierden, apoyado en el voz a voz, ocasiona que algunas compa-

ñías no sean recomendadas como empresas prestadoras de servicios de calidad.

Otro factor importante dentro de las consideraciones del problema, corresponde a que los clientes no cuentan con un contrato, compromiso o un documento que informe cuáles son sus derechos y deberes en el momento de la prestación del servicio y después del mismo (Noguera y Mateus, 2014). Este factor representa una afluencia general de quejas formales por parte de los clientes, donde se manifiesta el malestar por las negaciones de sus garantías, la inconformidad con el tiempo en la prestación del servicio y la incomodidad por la impuntualidad del servicio. En particular, las rutas programadas manualmente superan la capacidad productiva, por cuanto las horas del día no alcanzan para cumplir los objetivos trazados en la prestación de servicios, además que no se consideran los tiempos de espera en los clientes (Noguera y Mateus, 2014).

Este texto propone un modelo matemático de programación lineal entera mixta para la planeación de servicios y asignación de rutas para empresas prestadoras del servicio de control de plagas (CP). El objetivo fundamental de la problemática es asignar nodos (Clientes) a redes (Rutas), minimizando la suma de los costos de transporte y los costos asociados al tiempo ocioso de los operarios. Se han considerado restricciones de capacidad de servicios, eliminación de subtour y cumplimiento de demanda.

La metodología propuesta se ha probado con datos reales obtenidos de una de las empresas más importantes en Colombia, con operación en Cali, Bogotá y Medellín. La empresa ha diversificado sus servicios, brindando a sus clientes implementos de seguridad industrial, venta, revisión, mantenimiento y recarga de extintores. A principio del 2005, la

compañía empieza a notar la pérdida de clientes por carencia de cobertura a nivel nacional. En este momento decide iniciar operación en otras ciudades principales del territorio nacional. A inicios del año 2010, entran nuevos competidores que tomaron gran parte del mercado, sentando como estrategia la reducción considerable de precios. En la actualidad la empresa sigue perdiendo clientes gradualmente y aunque logra sostenerse financieramente, se encuentra inmersa en un mercado en el cual se compite por precio, calidad y servicio al cliente.

En la literatura revisada, no existe información que considere las particularidades del problema de planificación de servicios y programación de rutas para empresas que prestan el servicio CP. Este problema se enmarca dentro del bien conocido problema de Ruteo de Vehículos (VRP). El problema VRP consiste en la determinación de un conjunto de rutas para una flota de vehículos que parten de un depósito, las cuales deben satisfacer la demanda de varios clientes dispersos geográficamente (Bernal *et al.*, 2016). Cada ruta debe iniciar y finalizar en un centro de operación (Toth y Vigo, 2014). Aplicaciones de variantes del problema de ruteo de vehículos han sido propuestas por Escobar y Linfati, 2012; Chávez, Escobar y Granada, 2016; Linfati, Escobar y Gatica, 2014; y Escobar, Linfati y Adarme-Jaimes, 2015.

El problema del VRP puede ser representado por un problema de grafos: Sea $G=(V,E)$ un grafo completo indirecto, donde $V = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$ es el conjunto de vertices representado por los clientes con el depósito localizado en el vértice v_0 . $E = \{(v_i, v_j): i \neq j\}$ es el conjunto de arcos, cada una con un costo de viaje no negativo c_{ij} . Cada cliente $j \in V \setminus \{v_0\}$ tiene una demanda no negativa d_j , la cual debe ser satisfecha desde el depósito. Una flota homogénea con cada vehículo con capacidad Q , es disponible en el depósito v_0 . La meta del VRP es determinar las rutas a ser desarrolladas para satisfacer la demanda de los clientes considerando el mínimo costo de viaje. Las siguientes restricciones son impuestas:

- Cada ruta debe comenzar y terminar en el depósito;
- Cada cliente $j \in V \setminus \{v_0\}$ es visitado exactamente por un vehículo;
- La suma de las demandas de los clientes pertenecientes a cada ruta no debe exceder la capacidad del vehículo Q ;
- La duración total de cada ruta no debe exceder un valor D ;
- El número de rutas desarrolladas no debe exceder el número de vehículos;
- Cada cliente $j \in V \setminus \{v_0\}$ requiere un tiempo de servicio δ_j ($\delta_{v_0} = 0$).

Varios algoritmos para el VRP han sido propuestos durante las últimas décadas (Golden, *et al.*, 2008a, Golden, *et al.*, 2008b). Estos métodos consideran esquemas de optimización para solucionar pequeñas y medianas instancias, y varias heurísticas y algoritmos metaheurísticos para instancias grandes del VRP. Los algoritmos heurísticos y metaheurísticos reúnen todos los principios o conceptos que contribuyen a reducir el tiempo promedio de búsqueda de una solución (Ballou, 2004). Dichos métodos permiten obtener buenas soluciones aproximadas dentro de tiempos computacionales reducidos.

Una de las variantes del problema VRP que considera restricciones en el horario o tiempo de atención, se denomina en la literatura VRPTW. Este problema supone dos tipos de ventanas de tiempo (horario de atención): duras y suaves. Las restricciones de ventanas de tiempo duras, especifican para cada cliente que se debe cumplir estrictamente un horario en el que cual forzosamente debe ser visitado; mientras que las restricciones suaves especifican un tiempo flexible en el cual el cliente debería ser visitado (Li y Lim, 2003; Desrochers *et al.*, 1992; Bräysy y Gendreau, 2005; Sosa 2005; y Badillo, 2011). Normalmente, las restricciones de ventanas de tiempo suaves son violadas por los algoritmos propuestos, permitiendo soluciones infactibles durante las búsquedas (Toth y Vigo, 2014). El VRPTW esta relacionado íntimamente con la problemática de las empresas que prestan el servicio de CP, debido a que la asignación y cumplimiento de ventanas de tiempo es una prioridad para la satisfacción del cliente.

El artículo se encuentra organizado de la siguiente manera: en la Sección 2 se presenta la metodología propuesta, basada en la formulación de un modelo matemático de programación entera mixta. Finalmente, resultados computacionales y conclusiones son presentados en las secciones 3 y 4, respectivamente.

I. Modelo matemático propuesto

Para el desarrollo del modelo propuesto, se han identificado los requerimientos y especificaciones con las que cuentan las empresas del sector de servicios de control integral de plagas (CP). Dentro de estos aspectos se han considerado la capacidad instalada, la demanda, el número de operarios y otros elementos que permiten la formulación del modelo. Las decisiones del modelo están relacionadas con la asignación de operarios y la generación de rutas para los servicios demandados por un conjunto de clientes. El objetivo del modelo es la minimización de los costos de transporte (suma de los costos asociados a los tiempos de traslado de los operarios y los tiempo de servicios) y los costos del tiempo ocioso de los operarios.

El modelo matemático considera la siguiente notación:

Conjuntos

- Vértices del grafo $V=\{v_0, v_1, \dots, v_n\}$ considerando los puntos de servicio $\{v_1, \dots, v_n\}$ y el centro de operaciones $\{v_0\}$; indexados por i y j .
- Arcos del grafo $E=\{(v_i, v_j): i \neq j\}$.
- Operarios indexados por k .

Parámetros

- T_{ij} : Tiempo promedio de recorrer el arco (v_i, v_j) en minutos.
- CT_{ij} : Costo de transporte por unidad de tiempo del arco (v_i, v_j) (\$/min).
- S_{ik} : Tiempo promedio del servicio i realizado por el operario k en minutos.
- CO_k : Costo del operario k por unidad de tiempo (\$/min).
- P_k : Número máximo de servicios que pueden ser asignados al operario k .
- TP_k : Tiempo máximo por turno de trabajo del operario k en minutos.
- n : Número de vértices del grafo.

Variables de decisión

$X_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{si el arco } (v_i, v_j) \text{ es visitado por el operario } k \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases} \quad \forall (v_i, v_j) \in E; k \in K$

$Y_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{si el cliente } i \text{ es asignado al operario } k \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases} \quad \forall i \in V \setminus \{v_0\}; k \in K$

$u_i =$ Número de nodos visitados en cada ruta hasta el nodo $i \quad \forall i \in V$

$W_{ik} =$ Instante de tiempo donde inicia el servicio i ofrecido por el operario $k \quad \forall i \in V; k \in K$

$TO_k =$ Tiempo ocioso del operario $k \quad \forall k \in K$

Función objetivo

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{k \in K} T_{ij} CT_{ij} X_{ijk} + \sum_{k \in K} CO_k TO_k \quad (1)$$

Restricciones

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in V} X_{ijk} = 1 \quad \forall j \in V \setminus \{v_0\} \quad (2)$$

$$\sum_{j \in V} X_{ijk} - \sum_{j \in V} X_{jik} = 0 \quad \forall i \in V; k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{j \in V \setminus \{v_0\}} X_{v_0jk} \leq 1 \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{u \in V \setminus \{v_0\}} X_{v_0uk} + \sum_{u \in V \setminus \{j\}} X_{ujk} \leq 1 \quad \forall j \in V \setminus \{v_0\}; k \in K \quad (5)$$

$$u_i + 1 \leq u_j + n(1 - X_{ijk}) \quad \forall i=2, \dots, n; i \neq j; j=2, \dots, n; k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in V} X_{ijk} \leq P_k \quad \forall k \in K \quad (7)$$

$$W_{ik} \leq TP_k \quad \forall i \in V; k \in K \quad (8)$$

$$TO_k = TP_k - \left[\sum_{i \in V} \sum_{j \in V} T_{ij} X_{ijk} + \sum_{i \in V \setminus \{v_0\}} S_{ik} Y_{ik} \right] \quad k \in K \quad (9)$$

$$\sum_{j \in V} X_{ijk} = Y_{ik} \quad \forall i \in V \setminus \{v_0\}; k \in K \quad (10)$$

$$W_{ik} \sum_{j \in V} M X_{ijk} \quad \forall i \in V; k \in K \quad (11)$$

$$W_{ik} + S_{ik} + T_{ij} - W_{jk} \leq M(1 - X_{ijk}) \quad \forall i \in V; j \in V; k \in K \quad (12)$$

$$u_i \geq 0 \text{ entera}; X_{ijk} \in \{0, 1\}; Y_{ik} \in \{0, 1\}; W_{ik} \geq 0; TO_k \geq 0 \quad \forall i \in V; j \in V; k \in K \quad (13)$$

La función objetivo (1) suma los costos de la distancia recorrida por los operarios y los costos del tiempo ocioso. Nótese que el tiempo ocioso depende del tiempo de recorrido y del tiempo de servicio empleado. El grupo de restricciones (2) garantiza que cada cliente sea visitado exactamente por un solo operario y que solamente tenga un predecesor en la secuencia de la ruta. Restricciones (3) y (4) aseguran la continuidad de cada ruta y adicionalmente que cada una de ellas comience y termine en el mismo depósito. Restricciones (5) permiten que cada cliente sea asignado al servicio del operario, solamente si existe una ruta que lo une. La eliminación de subtour en las rutas se realiza mediante el conjunto de restricciones (6). El número de servicios por operario es limitado por ecuaciones (7), mientras que el tiempo máximo de procesamiento está determinado por (8). El tiempo ocioso de cada operario es igual a la diferencia entre la duración del turno y la sumatoria de los tiempos de servicio y los tiempos de traslado a su ruta asignada, según restricciones (9). El grupo de restricciones (10) limita a que un servicio sea realizado por un operario solamente si existe una ruta que contenga al cliente. Restricciones (11) aseguran que el servicio en el nodo no se puede iniciar, si el arco no ha sido asignado a la ruta del operario. El grupo de

restricciones (12) limita el tiempo de inicio de un servicio, teniendo en cuenta el tiempo de traslado del operario y el tiempo de servicio del predecesor en la ruta. Finalmente, la naturaleza de las variables está determinada por ecuaciones (13).

2. Resultados computacionales

Para validar el modelo matemático propuesto, se ha considerado el caso de una compañía colombiana que presta servicios de control de plagas (CIP) en las principales ciudades colombianas. En particular, se ha considerado la información de la ciudad de Cali para la ejecución de pruebas computacionales. Los resultados obtenidos se han comparado con la programación empírica que realiza la empresa.

2.1. Compañía caso de estudio

La operación de la compañía en Cali se desarrolla con seis operarios que realizan labores de fumigación, los cuales se han categorizado según la coordinación de servicios como experimentados, aprendices, novatos y junior. Dicha clasificación se adelanta de acuerdo con el tiempo laborado en el sector y su experticia en la realización de diversas tareas. La compañía tiene como política que un operario en cada jornada (mañana, tarde y noche) puede realizar hasta cuatro servicios, debido a que se pretende mantener la ejecución adecuada de los controles en el proceso de fumigación. Adicionalmente, la compañía cuenta con un número suficiente de equipos para prestar los servicios de CIP.

En promedio, la compañía recibe 26 solicitudes diarias de servicio CIP (demanda), las cuales se conocen con antici-

pación de un día y deben ser satisfechas. La demanda se clasifica según el tipo de control (líquido o seco) y el área considerada (muy pequeña, pequeña, mediana, grande y muy grande). Se maneja una política de margen de tiempo de atención (antes o después de la hora acordada) de 15 minutos. La compañía caso de estudio maneja en cada jornada un horario de trabajo según la siguiente programación: mañana (8 am a 12 m), tarde (2 pm a 6 pm) y noche (6 pm a 10 pm).

2.2. Resultados obtenidos

El modelo matemático se ha programado en AMPL y se ha ejecutado utilizando el solver CPLEX®. En la Tabla 1 se resumen los resultados obtenidos para un día típico de la compañía caso de estudio.

Como se puede observar, los resultados obtenidos por el modelo matemático dan referencia del orden de atención de los clientes (Rutas de atención). En este caso, el 0 indica el nodo del centro de operaciones, donde las rutas deben comenzar y terminar. Los resultados del modelo se han comparado (Tabla 2) con la programación empírica de la compañía, en función del tiempo total ocioso de las rutas y la función objetivo.

De acuerdo con la información de la Tabla 2, se puede observar claramente que hay una reducción del 81.32% en el tiempo ocioso y un 23.71% en la reducción de los costos totales por día. De esta manera se puede comprobar la importancia y eficiencia de la metodología propuesta para la solución de la problemática de planificación de servicios y programación de rutas en empresas pequeñas y medianas que prestan el servicio de control de plagas.

Tabla 1.
Resultados obtenidos del modelo matemático

Operario	Rutas de atención	Tiempo ocioso (min / día)	Función objetivo (\$ / día)	Tiempo de ejecución modelo (min)
1	0 - 3 - 19 - 5 - 15 - 24 - 0	26		
2	0 - 13 - 20 - 14 - 18 - 2 - 0	9		
3	0 - 1 - 4 - 7 - 26 - 9 - 17 - 0	38		
4	0 - 25 - 6 - 10 - 0	33	401.547,62	11.23
5	0 - 11 - 16 - 22 - 12 - 0	14		
6	0 - 21 - 8 - 23 - 0	46		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.
Comparación de resultados del modelo con la programación empírica

	Tiempo ocioso (min / día)	Función objetivo (\$ / día)
Modelo matemático	166	401.547,62
Programación empírica	301	526.380,32

Fuente: Elaboración propia

3. Conclusiones y futuras investigaciones

En el contexto colombiano, la mayoría de empresas pequeñas y medianas que se dedican a la prestación de servicios de control de plagas (CP) no cuentan con metodologías y herramientas cuantitativas que les ayuden a tomar decisiones acertadas en la planificación de sus procesos logísticos. Una decisión importante que esta directamente relacionada con la atención a los usuarios, es la de planificación de servicios y programación de rutas. Generalmente, estas decisiones son realizadas de forma empírica, lo cual no deja de ser un experimento riesgoso que afecta directamente los ingresos, el número de clientes y la reputación en el mercado.

Este trabajo propone un modelo de programación lineal entera mixta que considera la minimización de costos asociados a la distancia recorrida y el tiempo ocioso de los operarios que ejecutan las tareas. En comparación con los métodos tradicionales (programación empírica), el modelo matemático propuesto permite una reducción significativa en tiempo ocioso y en costos. Los resultados encontrados reflejan la importancia y eficiencia de la metodología propuesta como alternativa para el problema CP. Evidentemente, a medida que aumenta el número de clientes, las metodologías de solución aproximadas podrían ser una mejora alternativa para la problemática considerada.

Queda un interesante campo de investigación en el cual se pueden realizar extensiones en cuanto la consideración de otras funciones objetivo, otras restricciones adicionales e inclusión de variabilidad en los parámetros económicos. De igual manera se podrían considerar otras metodologías de solución para estos problemas del sector de CP. Finalmente, decisiones de selección de modo de transporte y tipos de vehículos, podrían ser incluidas dentro del modelo matemático. ≡

Conflicto de intereses

El autor declara no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias bibliográficas

1. BADILLO, Santiago. Un problema bi-objetivo de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo. Tesis Doctoral, México: Universidad Autónoma de Nuevo León, 2011.
2. BALLOU, Ronald. H. Logística: Administración de la Cadena de Suministro, 5ª edición ed., México: Pearson Educación, 2004.
3. BERNAL MOYANO, Jose; ESCOBAR, John Willmer; PAZ ROA, Juan Camilo; GATICA Gustavo; LINFATI, Rodrigo. A probabilistic Granular Tabu Search for the Distance Constrained Capacitated Vehicle Routing Problem (DCVRP). Technical Report, 2016.
4. BRÄYSY, Olli y GENDREAU, Michel. Vehicle routing problem with time windows, Part II: Metaheuristics. *In: Transportation Science*. 2005. vol. 39, no. 1. p. 119-139, .
5. CHÁVEZ, Jhon Jairo; ESCOBAR, John Willmer and GRANADA ECHEVERRI, Mauricio. A multi-objective Pareto Ant Colony algorithm for the Multi-Depot Vehicle Routing problem with Backhauls. *In: International Journal of Industrial Engineering Computations*. 2016. vol. 7, no. 1. p. 35 – 48.
6. DESROCHERS, Martin; DESROSIERS, Jacques and SOLOMON, Marius. A new optimization algorithm for the vehicle routing problem with time windows. *In: Operations Research*. 1992. vol. 40, no. 2. p. 342-354.
7. ESCOBAR, John Willmer y RODRIGO Linfati. Un algoritmo metaheurístico basado en recocido simulado con espacio de búsqueda granular para el problema de localización y ruteo con restricciones de capacidad. *En: Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. 2012. vol.11(21), pp.139-150,
8. ESCOBAR, John Willmer; LINFATI, Rodrigo and ADARME-JAIMES Wilson. A hybrid metaheuristic algorithm for the capacitated location routing problem. *In: Dyna*. 2015. vol. 82, no. 89. p. 243-251.
9. GOLDEN, Bruce L.; RAGHAVAN, Subramanian, and WASIL, EDWARD A. (Eds). The vehicle routing problem: latest advances and new challenges. Springer Science & Business Media. 2008. ISBN: 978-0-387-77777-1
10. LI, Haibing, y ANDREW, Lim. Local search with annealing-like restarts to solve the VRPTW. *In: European Journal of Operational research*. 2003. vol. 150, no. 1. p. 115-127.
11. LINFATI, Rodrigo, ESCOBAR, John Willmer, y GATICA Gustavo. Un algoritmo metaheurístico para el problema de localización y ruteo con flota heterogénea. *En: Ingeniería y Ciencia*. 2014. vol.10, no.19. p. 55-76.
12. NOGUERA BOTERO, Daniella y MATEUS, Francisco Javier. Mejoramiento de la programación de servicios y planificación de rutas en una empresa de servicios de control integral de plagas. Tesis de Pregrado Ingeniería Industrial, Cali: Pontificia Universidad Javeriana Cali, 2014.
13. SOSA, Pablo Andres Rey. Ruteo de vehículos con ventanas de tiempo para una cadena de supermercados regional en Chile. Tesis de Magister en Gestión de Operaciones, Chile: Universidad de Chile, 2005.
14. TOTH, Paolo y VIGO. Daniele. Vehicle routing: problems, methods, and applications, Vol. 18. Siam, 2014.