

¿Cómo identificar la literatura “poco - vital” y cuantificar su representatividad? Aplicación al problema del vendedor viajero <TSP>

(How to identify literature “bit - vital” and quantify its representativeness?

Application to the Traveling Salesman Problem <TSP>)

Jorge Pérez Rave, Gloria Jaramillo Álvarez, Juan Velásquez Henao

Palabras Clave: problema del vendedor viajero, revisión sistemática, heurística, espacio literario

Key Words: traveling salesman problem, systematic review, heuristic, literary space

RESUMEN

El problema del vendedor viajero es el principal caso de prueba en la optimización combinatoria. Se propone un método para identificar el espacio literario que reúne el estado actual y los avances en dicho campo de conocimiento, brindando garantías de efectividad, objetividad y reproducibilidad. El método emplea Scopus como medio de consulta y sigue las etapas: selección de términos, delimitación del espacio, trabajo de campo, control de calidad, depuración de información e informe. Se encuentra que la importancia del problema del vendedor viajero en la comunidad académica es creciente. Se identifican los estudios, sobre dicho tema, más reconocidos por la comunidad académica a través de la historia y entre 2006-2010. El espacio literario, identificado en este artículo, representa el 1,9% del total de documentos existentes y consolida el 68% de las citas. Los resultados de aplicación posibilitan a los interesados en el problema del vendedor viajero, acceder eficientemente a la literatura más reconocida sobre el tema. Se desea aplicar el método en otros temas.

ABSTRACT

Travelling salesman problem is the main problem to test advances in combinatorial optimization. With guarantees of objectivity, effectiveness and reproducibility for the method used and results obtained, it is proposed a review method to identify the literary space to include information

on the current status and progress of travelling salesman problem. Database “Scopus” is used in the proposed method, which involves the following steps: selection of terms, delimitation of the search, data collection, quality control, selection of relevant information and reporting results. The travelling salesman problem is increasingly important to the academic community. Studies on the travelling salesman problem, most recognized by the academic community throughout history and in 2006-2010, are identified. The literary space on the travelling salesman problem identified in this article represents only 1,9% of all existing documents and consolidates 68% of the citations issued by the academic community. The results enable stakeholders in the travelling salesman problem, efficient access to the best-known documents on the subject. Is appropriate to apply the method proposed in other subjects.

INTRODUCCIÓN

Ante la sociedad de la información y el conocimiento, que cada vez más ensancha el espacio literario sobre un tema determinado, y centrando el interés hacia el Problema del Vendedor Viajero (TSP, siglas en inglés), clásico de la investigación de operaciones (Flood, 1956, Cerný, 1985, Reinelt, 1991), uno de los retos académicos para generar nuevos proyectos en el tema o avanzar en los actualmente en curso, no está en términos del acceso a la información, sino en la identificación y extracción, con eficiencia y objetividad procedimental, de las fuentes que además de cumplir con la calidad requerida,

incorporan la información necesaria para mover las puntas actuales de conocimiento. Por ejemplo, en la figura 1, ilustrando para cualquier tema, se esquematiza la totalidad de documentos existentes, la cual está compuesta por un grupo que comprende los documentos que carecen de confiabilidad y por otro que reúne la literatura confiable; dentro de este último existen dos conglomerados, que apoyados en el principio de Pareto, uno de ellos representa lo mucho trivial y el otro, lo poco vital. En este segundo grupo, sin demeritar el contenido de los demás, es donde subyace la información más reconocida por la comunidad académica, de ahí la necesidad de identificarlo con garantías de objetividad, eficiencia y reproducibilidad del método empleado y de los resultados obtenidos.

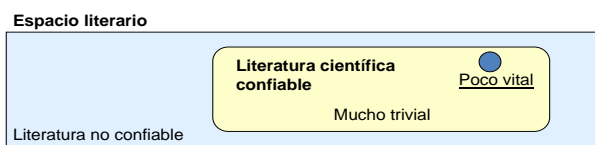


Figura 1. Ilustración del espacio literario sobre un tema.

Fuente: Pérez, (2011)

Es por ello que el presente artículo, además de introducir en el TSP, tiene como objetivo identificar el espacio literario, sobre dicho tema, más reconocido por la comunidad académica, pero bajo un método propuesto, aproximado desde la revisión sistemática, propia de los campos de la salud (Davis, et al, 1995) y desde algunas recientes experiencias en ingeniería de software (Staples y Niazi, 2007; Kitchenham, et al, 2009). Sobre este tipo de revisión, se resalta que de los 17.898 documentos encontrados en Scopus, considerando el año del primer reporte (1.954) hasta el 15-02-2011, bajo el término "systematic review" (delimitado al título), sólo el 1,2% pertenece a las áreas: ingeniería, ciencias de la computación y ciencias de la decisión, mientras no más que el campo de la medicina arroja 15.682 documentos (87,6%). Esto deduce oportunidades de hacer contribuciones significativas y novedosas hacia otras disciplinas.

El procedimiento (Pérez, 2011) se apoya en el método científico, posibilitando reproducibilidad en cualquier otro ámbito y escala temporal, así

como trascender la tradicional búsqueda informal para descubrir las fuentes del conocimiento en auge, eliminando inexactitud en la extracción del "saber" determinante y, además, propiciando eficiencia a los investigadores o estudiantes en formación. El despliegue de este método provee un espacio literario que no puede dejar de lado ningún investigador atraído hacia el TSP, y con ello, se espera servir de base para el desarrollo de nuevos proyectos de investigación, bien sea tratando el TSP como eje central o como subproblema, en los ámbitos de pregrado, maestría y doctorado.

Así, bajo el método a exponer en este artículo, se busca responder al siguiente interrogante: *¿Cuál es el espacio literario que reúne el estado actual y los avances en el TSP?*

Esta pregunta puede sistematizarse a través de las siguientes (Pérez, 2011): P.1 *¿Qué tan vigente es el estudio del TSP?*, P.2 *¿Cuáles son las publicaciones que abordan el TSP como eje central, más citadas en la comunidad académica a lo largo de la historia? (TOP 10)*, P.3 *¿Cuáles son las publicaciones sobre el TSP como eje central, más citadas en la comunidad académica entre 2006-2010? (TOP 10)* y P.4 *¿Qué tanto, el espacio literario identificado bajo el método propuesto, representa al conjunto de estudios más citados sobre el TSP?*

Una vez identificado el espacio literario relevante y teniendo cuantificado qué tan representativo es, los cuales se constituyen en el alcance del presente manuscrito, surge el interés de ejemplificar las posibilidades de continuar sistematizando la información proveniente de las publicaciones localizadas. Esto ha llevado a formular una pregunta más, concerniente en el estudio de la variable: clases de TSP. Así, P.5 se expresó como *¿qué clases de TSP han sido abordados en los estudios más citados sobre el tema a través de la historia y entre 2006-2010?*

El trabajo está organizado así: inicialmente se introduce en el TSP, luego se presenta las etapas para responder a las preguntas de investigación, se continúa con los resultados, haciendo alusión a cada interrogante y, finalmente, se ofrece las conclusiones.

Problema del Vendedor Viajero (TSP)

El TSP es uno de los casos más estudiados de la optimización combinatoria (Applegate, et al, 2006; Mora, 2005). En términos básicos, este problema representa un agente para el que se desea responder la siguiente pregunta ¿cómo debe elaborar su itinerario de forma que visite cada ciudad exactamente una vez y el coste total sea mínimo? (Flood, 1956). Las motivaciones hacia este problema se deben, desde el punto de vista teórico, a su sencilla comprensión y formulación, y al reto que representa por su complejidad de resolución (González & Ríos, 1999; Marti, 2003); desde el punto de vista pragmático, atrae por la variedad de problemas reales a los que puede aplicarse directamente o como subproblema, tanto en el ámbito de la manufactura como en los servicios. Algunas de sus aplicaciones son: programación de tareas en una máquina, distribución de mercancías como parte del problema de ruteo de vehículos (González y Ríos, 1999; Marti, 2003; Álvarez, Corberán y Tamarit, 1985), programación de servicios de llamadas, optimización de trayectorias de herramientas en equipos manufactureros y un trazador de gráficos (Etchegaray; 2005). El TSP merece el calificativo de “problema complejo de resolver”, o en términos científicos NP-hard (Lenstra y Rinnooy, 1981), lo que se traduce en la inexistencia de un algoritmo que encuentre la solución en un tiempo polinomial (Marti, 2003; Papadimitriou, 1977); es así que cuando las ciudades a visitar por este viajero se acrecientan, la obtención de la solución óptima explorando todas las posibilidades en las computadoras actuales, tomaría tanto tiempo que podría representar décadas. El auge que ha tomado el TSP en el ámbito científico y empresarial lo ha consolidado como una referencia “obligada” para validar muchos de los métodos de resolución de problemas de optimización combinatoria tipo NP-hard (Boese, Kahng, y Muddu, 1994; Johnson y McGeoch, 1997; Gardel, Gómez y Barán, 2004; Pérez et al., 2010), por lo que enfrentar nuevos métodos al TSP, constituye una prueba de

referencia con posibilidad luego de trascender hacia adaptaciones exitosas para otros problemas de la optimización combinatoria (Marti, 2003; Álvarez, Corberán y Tamarit, 1985; Dorigo y Gambardella, 1995).

METODOLOGÍA

El procedimiento empleado para responder a las preguntas de investigación expuestas consta de seis etapas (Pérez, 2011), empleando, como materiales e insumos, información proveniente de la base de datos www.scopus.com (Scopus® es una marca comercial registrada de Elsevier B.V), la cual es considerada como uno de los principales navegadores científicos de la Web (Codina, 2005). A continuación, se presenta el detalle procedimental de cada una de las etapas seguidas en el estudio.

Selección de los términos de búsqueda:

Se inició con el reconocimiento del tema, explorando en buscadores típicos como www.scholar.google.com algunas palabras relacionadas con el TSP; esto abordó la consulta de diversos artículos en los campos: palabras clave y referencias. Igualmente, se recurrió al campo de “Keywords” del Scopus como recurso de apoyo. Como producto de esta fase inicial de identificación, los términos “traveling salesman problem”, “travelling salesman problem”, “traveling salesperson problem” y “travelling salesperson problem”, se consideraron lo suficientemente “blindados” a temas que no tuviesen que ver con el interés del equipo de investigación.

Mapa de delimitación del espacio de búsqueda:

Basados en el potencial de los mapas mentales, se construyó un mapa de delimitación del espacio de búsqueda, que incorpora, bajo una estructura de orden lógico, lo siguiente: tipos de documentos, términos de búsqueda, áreas abordadas, lugares de búsqueda, periodos de análisis y preguntas de investigación. Dicho mapa se expone en la figura 2.

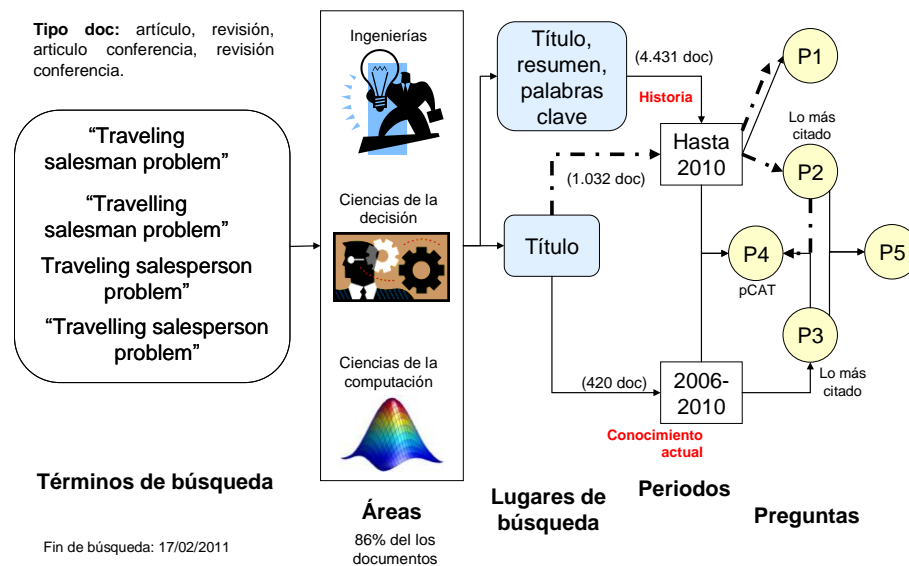


Figura 2. Mapa de delimitación del espacio de búsqueda. Fuente: Pérez (2011)

Como se observa en la figura 2, se contemplaron los cuatro términos, propios del TSP, seleccionados en la primera etapa. Además, procurando considerar la mayor parte del espacio literario, la búsqueda se enfocó en: artículos, revisiones de tema, publicaciones de conferencias y revisiones producto de conferencias. Este espacio luego fue delimitado a las áreas más relacionadas con la investigación de operaciones, que forman parte del TOP 5 que más presentó documentación sobre el tema: Ingenierías, Ciencias de la computación y Ciencias de la decisión. También, se incorporaron dos lugares de búsqueda, por separado, el primero correspondió a la triada título-resumen-palabras_clave, el cual permite encontrar documentos donde el TSP es tratado bien sea como problema central de la publicación o como subproblema; el segundo fue delimitado solo al título, a fin de garantizar que el TSP fuese tema central del trabajo o referente principal de prueba. Además de lo anterior, el espacio de búsqueda se restringió a dos periodos; el primero fue desde el reporte del primer documento en Scopus (bajo los criterios de búsqueda), hasta el 2010 y, el segundo, considerando los lapsos de vigencia de los estados del arte, se enfocó en 2006-2010.

Trabajo de campo

Bajo el mencionado algoritmo de búsqueda, las tres áreas elegidas representaron el 86% de la población de documentos. El corte de la búsqueda fue hecho el 17 de febrero de 2011. A continuación, para cada pregunta de investigación, se comenta su importancia y se detalla la búsqueda realizada: P1 es importante para identificar qué tanto, el tema escogido, en este caso el TSP, goza de vigencia en el ámbito académico. El análisis comprendió el comportamiento histórico de las publicaciones sobre el TSP desde que se encontró el primer documento en la base de datos hasta el 2010, tanto a nivel de la triada título-resumen-palabras_clave (4.431 documentos), como siendo eje central del trabajo o referente principal de prueba (sólo en título: 1.032 documentos). Para P.2 se siguió el algoritmo anterior, pero sólo se consideraron publicaciones que incorporaran el TSP en el título (fuese eje central o problema principal de prueba), como se observa en la figura 2; la importancia de esta pregunta radica en la necesidad de dar a conocer al investigador o estudiante, las fuentes que sin restricción de tiempo de inicio hasta la fecha (2010), esperando que algunas de ellas sean antiguas, aún están posicionadas en la comunidad académica, inspirando nuevos avances en el TSP. En otras

palabras, podrían representar presuposiciones consideradas hoy día como verdaderas, que han prevalecido a través del tiempo, además de conocer de primera mano los orígenes y bases del tema. Producto de esta búsqueda, se extrajeron los 10 documentos que más han sido citados por la comunidad académica, caracterizados según: jerarquía, título, autor(es), año de publicación, revista, tipo de documento y número de citas. P.3 es fundamental para que el interesado en el TSP conozca el espacio literario que actualmente marca los avances en dicho tema, los cuales se han realizado sobre la base actual de la tecnología y de otras dimensiones de la sociedad vigente. En estas fuentes subyace el saber referente al estado del arte, con tradicional actualización cada cinco años. Fruto de esta búsqueda, se extrajo el TOP 10 de los artículos que más han sido citados por la comunidad académica entre 2006-2010, caracterizados según: jerarquía, título, autor(es), año de publicación, revista, tipo de documento y citas.

P4 es importante para obtener evidencia cuantitativa sobre qué tanto el espacio literario identificado representa lo "poco vital", para lo cual, en este estudio se proponen dos indicadores basados en proporciones, pDAT (porcentaje de documentos atribuidos al TOP) y pCAT (porcentaje de citas atribuidas al TOP). Los insumos empleados para calcular dicho porcentaje ameritaron la extracción y tabulación del número de citas atribuido a cada registro de la población de documentos.

La ecuación 1 presenta la manera de calcular el pDAT, siendo doc_top el total de documentos en el top y, $total_doc$, la cantidad total de documentos arrojados al ejecutar el algoritmo de búsqueda (luego de haber excluido los que no cumplen con los criterios de inclusión).

$$pDAT = \frac{doc_top}{total_doc} \times 100\% \quad (1)$$

Así mismo, la ecuación 2 detalla el cálculo del pCAT, siendo cit_top , la cantidad de citas que consolida el top y, $cit_totaldoc$: la cantidad de

citas que reúne el espacio literario (luego de control de calidad).

$$pCAT = \frac{cit_top}{cit_totaldoc} \times 100\% \quad (2)$$

Lo ideal frente a la representatividad del espacio literario a abordar, siendo exactos en el principio de Pareto, es 80% (pCAT), 20% (pDAT); no obstante, dependiendo del tema, por ejemplo algo emergente, puede ameritar una cantidad exagerada de documentos para lograr reunir el 80% de las citas. Es allí donde el revisor, empleando los indicadores propuestos, le es viable evidenciar y dejar preciso el alcance de su trabajo, dando posibilidad, en futuros estudios, para que realicen nuevas adiciones al espacio literario relevante, inicialmente abordado.

Control de calidad

Un primer criterio de inclusión/exclusión de estudios fue que estos se encontraran en la base de datos Scopus. No todas las publicaciones cumplen con ello, puesto que deben garantizar diversos requisitos, entre ellos: que las revistas de donde provengan empleen revisión por árbitros, conformidad con normas técnicas de calidad, que contengan resúmenes en inglés y sean puntuales en la edición. La verificación de dichos criterios es realizada por un comité de investigadores y bibliotecarios.

(http://dice.cindoc.csic.es/base_de_datos.php?bd=S COPUS).

A fin de garantizar el "blindaje" de los términos de búsqueda elegidos y, en consecuencia, la pertinencia de los espacios literarios identificados, se llevó a cabo una verificación adicional, bajo los siguientes criterios: 1. TSP como tema central del trabajo o como principal problema de prueba, 2. TSP representando en exclusiva el "problema del vendedor viajero", 3. TSP abordado desde la perspectiva de la investigación de operaciones. En esta, de manera aleatoria, cada vez que se ejecutaba un espacio de búsqueda determinado, se verificaba el título y el resumen del 10% de los documentos arrojados. Además de ello, todos los documentos incluidos en los TOP fueron verificados (censo). En caso de encontrar algún resultado que no

correspondiese, se actualizarían las variables respuesta observadas y se incrementaría la muestra a 30%. Luego de verificar el título y resumen de 123 documentos (10% de 1.032 más 20 de los TOP), en la primera prueba todos cumplieron con los criterios, no siendo necesario llegar al 30% de cada espacio de búsqueda. Ello evidencia la pertinencia de los términos de búsqueda seleccionados en la primera etapa.

En caso de que al inicio del método no sea posible obtener términos de búsqueda lo suficientemente específicos y exclusivos para un tema determinado, se recomienda seguir un muestreo con más profundidad. Como ejemplo de un término de búsqueda no adecuado, considere que está interesado en identificar el espacio literario relevante sobre la calidad del servicio, pero bajo el enfoque de percepciones y/o expectativas del cliente. Un término que podría considerarse es "quality of service", pero no sería correcto, ya que no es exclusivo para el tema de interés; esto se debe a que dicho término se asocia comúnmente a

RESULTADOS

P.1 ¿Qué tan vigente es el estudio del TSP?

Entre 1960-2010, al corte de la consulta en Scopus (17/02/2011) se encontraron 4.431 publicaciones que cumplen con los criterios de la búsqueda en título-resumen-palabras_clave y, dando exclusividad solo al título, la población de documentos encontrada fue de 1.032. En la figura 3 se muestra la tendencia de publicación sobre el tema,

"QoS", bajo un enfoque hacia indicadores duros", propios del conjunto de tecnologías que garantizan la continuidad en la transmisión de datos en un tiempo dado.

Es de anotar que en esta etapa pueden incorporarse otros criterios de inclusión/exclusión, dependiendo de los intereses del revisor.

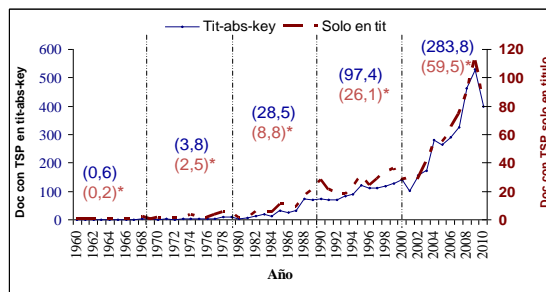
Depuración de la información relevante:

Se procedió a extraer las referencias y demás información necesaria para dar respuestas a cada una de las preguntas de investigación. Para ello, las tabulaciones se realizaron en Excel, aprovechando además para el TOP de artículos, la opción de generar bibliografía, incorporada en Scopus.

Reporte de resultados

Se generó una gráfica de tendencias para responder y apoyar el análisis de P1; para P2 y P3 se construyeron tablas en Excel, incorporando diversos campos de caracterización y, para saldar P4, también, en forma de tabla, se registraron los resultados de los indicadores pDAT y pCAT.

permitiendo deducir la importancia y el auge que el TSP viene tomando en la comunidad académica. Esta figura presenta una tendencia creciente en el número de publicaciones desde la década del 60', con un promedio de 0,6 documentos por año hasta 1969 y de 283,8 documentos por año en la última década.



(.) : promedio artículos/año con TSP en título, abstract y keywords
(.)* : promedio artículos/año con TSP sólo en título

Figura 3. Publicación de artículos sobre el TSP a nivel general y como eje central. Fuente: Pérez (2011)

Este comportamiento también se nota respecto al TSP como eje principal, puesto que delimitando el

espacio sólo al título, en la figura 3 se muestra un promedio de 0,2 publicaciones por año hasta 1969,

en comparación con 59,5 documentos por año en el último decenio. Cabe destacar el incremento de publicaciones en el 2009, enfatizando para la búsqueda solo en título, la cual pasó drásticamente de un promedio de 81 documentos por año, considerando los dos años anteriores (2007 y 2008),

P.2 ¿Cuáles son las publicaciones que abordan el TSP como eje central, más citadas en la comunidad académica a lo largo de la historia? (TOP 10)

a 112 publicaciones, regresando en el 2010 a 84 trabajos. Si bien es cierto que el creciente número de publicaciones también se ve afectado por la sociedad de la información y el conocimiento, no puede negarse que hoy día el TSP continúa vigente en los esfuerzos de la comunidad académica.

Como se muestra en la tabla 1, el TOP lo encabeza Dorigo, y Gambardella (1997) (1.946 citaciones), el cual aborda el TSP introduciendo el Sistema de Colonia de Hormigas.

Tabla 1. TOP 10 de publicaciones del TSP como eje central, más citadas en la historia.

Pos	Título	Estudio	Revista	Tipo	Citas
1	Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem	Dorigo y Gambardella, (1997)	IEEE Transactions on Evolutionary Computation	Article	1,946
2	Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm	Cerný (1985)	Journal of Optimization Theory and Applications	Article	635
3	TSPLIB. A traveling salesman problem library	Reinelt (1991)	ORSA journal on computing	Article	443
4	The traveling-salesman problem and minimum spanning trees: Part II	Held y Karp (1971)	Mathematical Programming	Article	161
5	MAX-MIN Ant System and local search for the traveling salesman problem	Stuetzle y Hoos, (1997)	Proceedings of the IEEE Conference on Evolutionary Computation, ICEC	Conference Paper	154
6	Fast algorithms for geometric traveling salesman problems	Bentley (1992)	ORSA journal on computing	Article	128
7	Self-organizing feature maps and the travelling salesman problem	Angéniol, de La Croix y Le Texier (1988)	Neural Networks	Article	107
8	The traveling salesman problem: An overview of exact and approximate algorithms	Laporte (1992)	European Journal of Operational Research	Article	98
9	Applying evolutionary programming to selected traveling salesman problems	Fogel (1993)	Cybernetics and Systems	Article	97
10	Genetic algorithms for the travelling salesman problem: A review of representations and operators	Larrañaga et al. (1999)	Artificial Intelligence Review	Article	96

Fuente: Pérez (2011)

P.3 ¿Cuáles son las publicaciones sobre el TSP como eje central, más citadas en la comunidad académica entre 2006-2010? (TOP 10)

Como se expone en la tabla 2, este listado lo encabeza una publicación tipo revisión sobre el múltiple vendedor viajero, una extensión del TSP clásico (48 citaciones); dicho estudio fue realizado por Bektas, (2006), perteneciente al Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Baskent en Turkía y publicado en la revista Omega. La posición número 10 está asignada a Duan y Yu, (2007), (13 citaciones) quienes aportan un artículo de conferencia, en el que combinan Colonia de

Hormigas con Algoritmos meméticos para aportar al TSP.

P.4 ¿Qué tanto, el espacio literario identificado bajo el método propuesto, representa al conjunto de estudios más posicionados sobre el TSP?

En la tabla 3 se responde a esta pregunta, ilustrando el cálculo y el resultado del pDAT y del pCAT, para cada uno de los espacios literarios abordados. El TOP 10 de los estudios sobre el TSP como eje central, más citados a lo largo de la historia, representa solo el 1% del total de documentos (pDAT), pero a él se le atribuye el 64% de las citaciones dadas por la comunidad académica (pCAT).

Tabla 2. TOP 10 de publicaciones del TSP como eje central, más citadas entre 2006-2010.

Pos	Título	Autor(es)	Revista	Tipo	Citas
1	The multiple traveling salesman problem: An overview of formulations and solution procedures	Bektas (2006)	Omega	Review	48
2	A random-key genetic algorithm for the generalized traveling salesman problem	Snyder y Daskin, (2006)	European Journal of Operational Research	Article	46
3	Implementation of an effective hybrid GA for large-scale traveling salesman problems	Nguyen et al. (2007)	IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics	Article	32
4	A hybrid scatter search for the probabilistic traveling salesman problem	Liu (2007)	Computers and Operations Research	Article	23
5	A new approach to solving the multiple traveling salesperson problem using genetic algorithms	Carter y Ragsdale (2006)	European Journal of Operational Research	Article	21
6	Variable neighborhood search for the pickup and delivery traveling salesman problem with LIFO loading	Carrabs, Cordeau y Laporte (2007)	INFORMS Journal on Computing	Article	18
7	A Compressed-Annealing Heuristic for the Traveling Salesman Problem with Time Windows	Ohlmann y Thomas (2007)	INFORMS Journal on Computing	Article	16
8	Aggregation for the probabilistic traveling salesman problem	Campbell (2006)	Computers and Operations Research	Article	15
9	Traveling salesperson problems for the Dubins vehicle	Savla, Frazzoli y Bullo (2008)	IEEE Transactions on Automatic Control	Article	14
10	Hybrid ant colony optimization using memetic algorithm for traveling salesman problem	Duan y Yu (2007)	Proceedings of the 2007 IEEE Symposium on Approximate Dynamic Programming and Reinforcement Learning, ADPRL 2007	Conference Paper	13

Fuente: Pérez (2011)

Tabla 3. Representatividad del espacio literario identificado. Fuente: Pérez, (2011)

Espacio literario	Población de documentos	de	Número de documentos en los TOP	Porcentaje de documentos atribuidos al TOP (pDAT)	Población de citas	Número de citas atribuidas al TOP	Porcentaje de citas atribuidas al TOP (pCAT)
Entre 2006-2010	420		10	2,4%	802	246	31%
En la historia (1968-2010)	1,032		10	1,0%	6,075	3,865	64%
Total documentos (1968-2010)	1.032*		20	1,9%	6.075**	4.111***	68%

*Incluye los 420 documentos de 2006-2010; **contiene las 802 citas de 2006-2010.
 *** Es la suma de las citas de cada TOP, ya que son mutuamente excluyentes.

Con relación al 2006-2010, los documentos que conforman el TOP representan el 2,4% del total de publicaciones (pDAT) y reúnen el 31% de las citas (pCAT). A nivel global, considerando el año de reporte del primer documento en Scopus, sobre el TSP como eje central (año 1968) y hasta 2010, los 20 documentos que conforman los dos TOP de interés (1,9% de la población), representan el 68% de las citas dadas por la comunidad científica para este tema (pDAT: 1,9%; pCAT: 68%). El incremento al 68% se debe a que las 802 citas entre 2006-2010 ya están contadas en las 6.075 que se deben a 1.968-

2.010, pero las 3.865 citas y las 246 son mutuamente excluyentes, puesto que pertenecen en exclusiva a los documentos de los TOP, todos ellos diferentes.

P.5 ¿Qué clases de TSP han sido abordados en los estudios más citados sobre el tema través de la historia y entre 2006-2010?

El espacio literario relevante, identificado para el TSP puede abordarse mediante una descripción cualitativa; no obstante, bajo el rigor de la revisión sistemática, es posible emplear análisis cuantitativos; por ejemplo considerando la frecuencia absoluta para la

variable clases de TSP, 12 (10 del top histórico y 2 de 2006-2010) de los 20 estudios más citados han abordado el TSP original, en tanto que los demás se enfocan en las siguientes variaciones: PTSP (dos estudios), m-TSP (dos estudios), TSPPDL (un estudio), TSPTW (un estudio) y DTSP (un estudio) y GTSP (un estudio). La descripción de estas variantes del TSP puede verse en Pérez y Jaramillo (en prensa).

CONCLUSIONES

Se introduce en el TSP, comentando de manera general su clásica definición, importancia y aplicaciones. Esto con el fin de orientar al lector que inicia su interés en el TSP como posible campo de investigación, bien sea a nivel de pregrado o posgrado. Este refuerzo también es útil como material de apoyo para estudiantes de cursos introductorios a la optimización combinatoria, dado que el TSP constituye uno de los problemas más relevantes, estudiados y aún vigentes en este ramo.

Luego de introducir en el tema, el trabajo enfatiza en la necesidad de orientar al estudiante o investigador que va a profundizar en el estudio del TSP, de modo que identifique con criterios de eficiencia, objetividad y reproducibilidad procedimental, el espacio literario relevante. Para ello, se expone, apoyados en elementos de la revisión sistemática de literatura, un procedimiento reproducible en cualquier otro ámbito o espacio temporal, que ofrece garantías de acceso a información de calidad, oportuna para el momento, pertinente para el campo de estudio y debidamente aceptada y posicionada en la comunidad científica.

El procedimiento propuesto en este artículo muestra, en su primer caso de aplicación, que con solo el 1,9% de la población de los estudios que tratan el TSP como eje central (pDAT), se consolida el 68% del total de citaciones que la comunidad académica ha dado a dicho tema (pCAT).

La aplicación del método expuesto en este artículo, posibilita que los estudiantes e

investigadores interesados en el TSP, con una vigencia que podría considerar los próximos cinco años, se introduzcan de una vez en la lectura y el análisis del "saber" académico más reconocido sobre el TSP, acorde con los criterios de búsqueda. Esto, con el fin de ganar eficiencia y tener garantías de que la información a la que se está llegando goza de la calidad, y del reconocimiento y aceptación por parte de la comunidad académica.

Del mismo modo, las preguntas de investigación saldadas constituyen opciones interesantes que, entre otras, no deberían faltar en actos de defensas de tesis de pregrado o posgrado en el tema.

TRABAJOS FUTUROS

Surge el interés de profundizar en el espacio literario relevante, expuesto en este manuscrito, mediante respuestas precisas a las siguientes preguntas de investigación: ¿De qué trata el Top 10 de las publicaciones más citadas a lo largo de la historia, que abordan como eje central el TSP? ¿De qué trata el Top 10 de las publicaciones que actualmente (2006-2010) marcan los avances en el estudio del TSP como eje central? ¿Qué métodos de resolución han sido empleados en los estudios más citados sobre el TSP? Y ¿qué campos han inspirado los métodos de resolución empleados en los estudios más citados sobre el TSP? Las respuestas a dichas preguntas y, en general, el estado actual del tema y sus tendencias, pueden verse en Pérez y Jaramillo (en prensa). Así mismo, una metodología completa de "Revisión sistemática de literatura en ingeniería", que guía desde la idea de revisión hasta la elaboración y envío del manuscrito, se presenta en Pérez (2012).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, R., Corberán A. y Tamarit, J. (1985). La combinatorial poliédrica y el problema del viajante. Aplicación al caso de ciento tres ciudades Españolas. *Qüestió*, 9(3), 199-213.
- Applegate, D., Bixby, R., Chvátal, V. y Cook, W. (2006). *The traveling salesman problem: a computational study*. Princeton University Press, New Jersey, 1-593.

- Bektas, T. (2006). The multiple traveling salesman problem: An overview of formulations and solution procedures. *Omega*, 34(3), 209-219.
- Boese, K., Kahng, A. y Muddu, S. (1994). A new adaptive multi-start technique for combinatorial global optimization. *Operations Research Center*, 16, 101-113.
- Cerný, V. (1985). Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 45(1), 41-51.
- Codina, L. (2005). Scopus: el mayor navegador científico de la Web. *El profesional de la información*, 14(1), pp. 44-49.
- Davis, D., Thomson, M., Oxman, A. y Haynes, R. (1995). Changing physician performance: A systematic review of the effect of continuing medical education strategies. *Journal of the American Medical Association*, 274(9), 700-705.
- Dorigo, M., y Gambardella L. (1997). Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 1(1), 53-66.
- Dorigo, M. y Gambardella, M. (1995). *Ant-q: A reinforcement learning approach to the traveling salesman problem*. In Proceedings of the Iwelfth International Conference on Machine Learning. Tahoe City. CA USA, 252-260.
- Duan, H. y Yu, X. (2007). *Hybrid ant colony optimization using memetic algorithm for traveling salesman problem*. Proceedings of the 2007 IEEE Symposium on Approximate Dynamic Programming and Reinforcement Learning, ADPRL 2007, art. No. 4220819, 92-95.
- Etchegaray, F. (2005). *Optimización del proceso de teñido de telas*. Universidad Nacional de Quilmes, Tesis Phd., Argentina, 44.
- Flood, M. (1956). The traveling salesman problem. *Operations Research*, 4, 61-75.
- Gardel, P., Gómez, O., y Barán, B. (2004). *Estudio del espacio de soluciones del problema del cajero viajante*. In 30ma Conferencia Latinoamericana de Informática (CLEI2004). Arequipa, Perú, 745-756.
- González, J. y Ríos, R. (1999). Investigación de operaciones en acción: Aplicación del TSP en problemas de manufactura y logística. *Ingenierías*, 2(4), 18-23.
- Johnson, D. y McGeoch, L. (1997). The traveling salesman problem: A case study in local optimization. E. Aarts, J. Lenstra (eds.), *Local search in combinatorial optimization*, chapter 8, Wiley, Chichester, 215-310.
- Kitchenham, B., Pearl Breerton, O., Budgen, D., Turner, M., Bailey, J. y Linkman, S. (2009). Systematic literature reviews in software engineering - A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 51(1), 7-15.
- Larrañaga, P., Kuijpers, C., Murga, R., Inza, I. & Dizdarevic, S. (1999). Genetic algorithms for the travelling salesman problem: A review of representations and operators. *Artificial Intelligence Review*, 13(2), 129-170.
- Lenstra, J. y Rinnooy, K. (1981). Complexity of vehicle routing and scheduling problems. *Networks*, 11, 221-227.
- Martí, R. (2003). Procedimientos metaheurísticos en optimización combinatoria. *Matemáticas*, 1(1), 1-60.
- Mora, A. (2005). *Resolución del problema militar de búsqueda de camino óptimo multiobjetivo mediante el uso de algoritmos de optimización basados en colonia de hormigas*. Tesis doctoral. Granada. Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores, 1-215.
- Papadimitriou, C. (1977). The euclidean traveling salesman problem np-complete. *Theoretical Computer Science*, 4(3), 237-244.
- Pérez, J., Jaramillo, P., Parra, C. y Moreno, L. (2010). Tetraheurística Sistemica para el TSP. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 18(2), 187-202.
- Pérez, J. (2011). *Heurística inspirada en el análisis sistémico del vecino más cercano para solucionar instancias simétricas TSP empleando una base comparativa multicriterio*. Tesis de Maestría en Ingeniería de Sistemas. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Medellín.
- Pérez, J. (2012). *Revisión sistemática de literatura en ingeniería*. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Pérez, J. y Jaramillo, G. (en prensa). Espacio literario relevante sobre el Problema del vendedor viajero (TSP): Contenido, clasificación, métodos y campos de inspiración *Revista Producao*. Brasil.
- Reinelt, G. (1981). TSPLIB. A traveling salesman problem library. *ORSA journal on computing*, 3(4), pp. 376-384.
- Staples, M. y Niazi, M. (2007). Experiences using systematic review guidelines. *Journal of Systems and Software*, 80(9), 1425-1437.
- Stuetzle, T. y Hoos, H. (1997). *MAX-MIN Ant System and local search for the traveling salesman problem*. Proceedings of the IEEE Conference on Evolutionary Computation, ICEC, 309-314.

Autores

Jorge Iván Pérez Rave (MSc). Universidad de Antioquia, Dpto. de Ingeniería Industrial, grupo de investigación Gestión de la Calidad. Ciudad Universitaria, calle 67 No. 53 - 108, bloque 21, oficina 404, Medellín, Colombia.

E-mail: ejipr056@udea.edu.co

Gloria P. Jaramillo Álvarez (PhD). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Departamento de Sistemas.

E-mail: gpjarami@unal.edu.co

Juan D. Velásquez Henao (PhD). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Departamento de Sistemas.

E-mail: jdvelasq@unal.edu.co

Recibido: 16/01/2012

Aceptado: 27/05/2012