



Nuevos enfoques heurísticos para resolver problemas combinatorios

ENTIDAD EJECUTORA PRINCIPAL: Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae)

AUTORES PRINCIPALES: Alejandro Rosete Suárez¹, Jenny Fajardo Calderín¹, Isis Torres Pérez¹, Diana Martín Rodríguez¹, Mailyn Moreno Espino¹, Martha Dunia Delgado Dapena¹

Otros autores: Orenia Lapeira Mena¹, Taymí Ceruto Cordovés¹, Eduardo Sánchez Ansola¹, Cynthia Porras Nodarse¹, Margarita André Ampuero¹, Ana Lilian Infante Abreu¹, Katherine Escalera Fariñas¹, Perla Beatriz Fernández Oliva¹, Danay Larrosa Uribazó¹, Arloys Macías Rojas¹, Sandra Verona Marcos¹, Humberto Díaz Pando¹, José Luis Verdegay Galdeano², Carlos Cruz Corona², David Alejandro Pelta², Antonio Masegosa³, Juan Ángel Aledo Sánchez⁴, José Antonio Gámez Marín⁴, Francisco Herrera Triguero², Jesús Alcalá Fernández², Juan Pavón Mestra⁵

Colaboradores: Amanda Romero Cabrera¹, Annalay Escalera Fariñas¹, Dailé Osorio Roig¹, Diago Ernesto Estrada Rodríguez¹, Elizabeth Hernández Fernández¹, Leandry Girón Lima¹, Leydis Sánchez Yera¹, Lucia Díaz Subí, Michel Escalante Álvarez¹, Milton García Borroto¹, Leyda Del Carmen Machado Lores¹, Roberto José Nerey Reyes¹, Roberto Sepúlveda Lima¹, Rosali Díaz Hernández¹, William Cantillo Terrero¹, Adrián Madruga Castillo⁶, Erick Hernández Darias⁶, Jorge Herrera Franklin⁷, José R. González-Cobas⁸, Sylenia Almeida Esteva⁶, Cornelio Yáñez Márquez⁹, David Molina García⁴, Sergio Cuenca Asensi¹⁰

Filiación: ¹Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae), ²Universidad de Granada, ³Universidad de Deusto, ⁴Universidad de Castilla-La Mancha, ⁵Universidad Complutense de Madrid, ⁶CITI-Datys, ⁷Centro de Investigaciones y Manejo Ambiental del Transporte (CIMAB), ⁸Instituto Panamericano de Ingeniería Naval (IPIN), ⁹ Instituto Politécnico Nacional (IPN), México, ¹⁰Universidad de Alicante (UA), España

Palabras clave

problemas combinatorios; heurísticas; metaheurísticas; transportación; obtención de conocimiento; ingeniería de software

RESUMEN

Se describen nuevos enfoques heurísticos y metaheurísticos para la solución de problemas combinatorios. A nivel teórico se aportan enfoques difusos para el tratamiento flexible de las restricciones, esquemas para la combinación sinérgica de heurísticas y métodos para mejorar la eficiencia de los enfoques heurísticos. A nivel práctico se han desarrollado soluciones heurísticas en varias áreas de aplicación: transportación, obtención de conocimiento e ingeniería de *software*. Los aportes mejoran la eficacia y eficiencia de las soluciones previas.

En esta comunicación se presentan varias propuestas basadas en enfoques heurísticos que permiten resolver de forma más eficaz y eficiente varios problemas combinatorios de valor práctico. Las propuestas tienen dos dimensiones: una dimensión específica asociada a problemas combinatorios que surgen en el área de la ingeniería del conocimiento, la transportación y la ingeniería del *software*; y una dimensión general y teórica que tienen varios aspectos de estas soluciones específicas: las formas desarrolladas para combinar heurísticas, el tratamiento flexible de las restricciones usando lógica difusa y los métodos para mejorar la eficiencia de los enfoques heurísticos.

Enfoques heurísticos desarrollados con carácter general y teórico

Los enfoques heurísticos y metaheurísticos son esenciales en la solución computacional de problemas diversos, y permiten explorar inteligentemente los grandes espacios de búsqueda que incluyen las soluciones posibles a estos problemas, los cuales surgen en muchas ramas de la ciencia y la técnica. Sin embargo, un algoritmo heurístico o metaheurístico que funcionó bien en un problema puede no ser el idóneo para otro. Se proponen, como parte de esta investigación, dos alternativas para enfrentar esta situación:

- Portafolios de algoritmos que permiten disponer de un abanico de opciones iniciales para la solución de un nuevo problema, las cuales se adaptan a usar más un algoritmo según la calidad mostrada [6, 7, 12].
- Estrategias de cooperación, coordinación y competencia entre algoritmos basados en el paradigma de los agentes inteligentes, que permiten una adaptación proactiva a cada problema que debe resolverse [11].

Por otra parte, muchas de las formas tradicionales de resolver un problema combinatorio asumen que las características del problema son claramente conocidas de antemano y que no cambiarán. Sin embargo, en la vida real esto no es así, pues las restricciones muchas veces son indicativas y no normativas, y no hay una clara preferencia entre los distintos aspectos que hacen una solución mejor o peor. Igualmente, cuando se produce un cambio en las condiciones, lo deseable es ver el problema como una evolución del estado previo y no como una situación completamente nueva. Como parte de esta investigación, se ha trabajado en tres dimensiones complementarias:

- La inserción y manejo de restricciones difusas, que permiten considerar la vaguedad de los problemas, donde las demandas, las capacidades y otras condiciones no son tan estrictas [13, 14].

- Algoritmos heurísticos que se adaptan en entornos donde los problemas son cambiantes (dinámicos) [6, 7].
- La adaptación a estas situaciones de enfoques multiobjetivos que permiten brindar al decisor un conjunto de soluciones con diferentes niveles de compromiso en cuanto a la satisfacción de las restricciones y de los objetivos a optimizar en cada problema [9, 13, 14].

Por último, también se ha trabajado en la mejoría de la eficiencia de estos enfoques en cuanto al tiempo de ejecución, en dos direcciones fundamentales:

- Desarrollo de versiones paralelas [9].
- Desarrollo de versiones más eficientes basadas en la evaluación parcial evitando recalcular valores previamente obtenidos [1, 2].

Estas propuestas están en línea con las investigaciones más avanzadas en el campo de los enfoques heurísticos. También se ha trabajado en la combinación de varios aspectos, como son soluciones multiobjetivo con enfoques difusos [14] y portafolios de algoritmos para problemas dinámicos [6, 7, 12].

Enfoques heurísticos desarrollados con carácter específico y práctico

Adicionalmente a los desarrollos teóricos comentados en la sección anterior, se han combinado estos para resolver problemas de diferente naturaleza. Un área de aplicación en que se han desarrollado soluciones es la de los problemas de transportación y localización de instalaciones. Algunos de los aportes son:

- Modelos y algoritmos para el ruteo de camiones y remolques [13, 14].
- Modelos y algoritmos para distribuir flotas de transporte marítimo [8].
- Solución con enfoque dinámico a la localización de instalaciones que permiten un mayor cubrimiento de los servicios [7, 12].
- Soluciones proactivas a problemas de ruteo óptimo de viajes [11].

Otra área en que se han aplicado los enfoques heurísticos desarrollados es la producción e ingeniería del *software*, en las direcciones siguientes:

- Conformación de equipos de proyectos con un mejor grado de cumplimiento de las competencias que

se necesitan en los puestos y que minimicen las incompatibilidades [5].

- Definición de planes de pruebas de *software* que aseguren una mejor calidad y una mayor eficiencia en este proceso [3].
- Distribución óptima de los recursos de hardware y *software* [4].

La otra dirección de aplicación de los enfoques heurísticos desarrollados ha sido la obtención de conocimiento a partir de datos:

- Obtención de *rankings* de consenso que resumen varios *rankings* con una mejor calidad y un uso más eficiente de los recursos de cómputo [1, 2].
- Obtención de conjuntos de reglas a partir de datos, con una mejor diversidad que los conjuntos obtenidos por soluciones anteriores [10].
- Obtención de predicados difusos que resumen un conjunto de datos de entrada satisfaciendo diversos requisitos de calidad [9].

La mayoría de los trabajos aplicados están relacionados con proyectos desarrollados en el Centro de Investigaciones Tecnológicas Integradas (CITI), que son relevantes para la seguridad y el orden interior del país. Adicionalmente, los avances han sido aplicados en la docencia que se imparte en la Facultad de Ingeniería Informática tanto a nivel de pregrado (Matemática Discreta, Introducción a la Inteligencia Artificial, Inteligencia Artificial, Investigación de Operaciones, Algoritmos Metaheurísticos, Agentes Inteligentes) como de posgrado (Sistemas Informáticos Inteligentes, Ingeniería de *Software*, Matemática Discreta, Matemática Computacional, Algoritmos Metaheurísticos).

En conclusión, se describen algunos de los aportes y resultados alcanzados en el desarrollo de nuevos enfoques heurísticos para la solución de problemas combinatorios. Los aportes han tenido incidencia a nivel teórico y práctico con resultados que muestran mejoras en eficacia y eficiencia.

Referencias bibliográficas

1. J. A. Aledo J. A. Gámez, A. Rosete: Partial evaluation in Rank Aggregation Problems, *Computers & Operations Research (COR)*, 78, 299-304, 2016.

2. J. A. Aledo, J. A. Gámez, A. Rosete: Utopia in the solution of the Bucket Order Problem, *Decision Support Systems*, 97, pp. 69-80, 2017.
3. M. Delgado, A. Macías, D. Larrosa, S. Verona, P. Fernández: Modelo para la generación automática de pruebas tempranas basadas en búsqueda, *Computación y Sistemas*, 21, 3, 503-513, 2017.
4. Partición hardware software de un codificador JPEG utilizando escalador de colinas estocástico, *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 1, 9, 94-108, 2015.
5. K. Escalera, A. L. Infante, M. André, A. Rosete: Técnicas para el tratamiento de restricciones en el problema de conformación de equipos de proyectos de software, *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 9, 110-125, 2015.
6. J. Fajardo, A. Masegosa, D. Pelta: Algorithm portfolio based scheme for dynamic optimization problems, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 8, 4, 667-689, 2015.
7. J. Fajardo, D. Pelta, A. Masegosa: An algorithm portfolio for the dynamic maximal covering location problem, *Memetic Computing*, 8, 3, 1-11, 2016.
8. J. Herrera, J.R. González-Cobas, A. Rosete: Optimización de la distribución de la flota de cabotaje en múltiples direcciones de transportación, *Revista Ingeniería Mecánica*, 19, 1, 17-25, 2016.
9. O. Lapeira, T. Ceruto, A. Rosete, H. Díaz: Algoritmo paralelo para la obtención de predicados difusos, *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 11, 2, 117-133, 2017.
10. D. Martín, J. Alcalá, A. Rosete, F. Herrera: NICGAR: a Niching Genetic Algorithm to Mine a Diverse Set of Interesting Quantitative Association Rules, *Information Sciences*, 355-356, 208-228, 2016.
11. M. Moreno, A. Rosete, J. Pavón: An agent based approach for the implementation of cooperative proactive S-Metaheuristics, *Expert Systems With Applications*, 63, 344-374, 2016.
12. C. Porras, J. Fajardo, D. E. Estrada, L. Sánchez: Software tool for model and solve the maximum coverage location problem, a case study: Locations police officers, *Revista Investigación Operacional*, 38, 2, 141-149, 2017.
13. I. Torres, C. Cruz, J. L. Verdegay: Solving the Truck and Trailer Routing Problem with Fuzzy Constraints, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 8, 4, 713-724, 2015.
14. I. Torres, A. Rosete, C. Cruz, J. L. Verdegay: Solving a multiobjective truck and trailer routing problem with fuzzy constraints, *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 341, 237-255, 2016.

AUTOR PARA CORRESPONDENCIA

Alejandro Rosete. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE). Correo electrónico: rosete@ceis.cujae.edu.cu