

Algoritmos Metaheurísticos para Optimización y Aplicación a Problemas NP Completos

Hugo Alfonso¹, Carolina Salto¹, Gabriela Minetti¹, Natalia Stark¹
Carlos Bermúdez², Alina Orellana³, Patricia Graglia⁴

Laboratorio de Investigación en Sistemas Inteligentes (LISI)
Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de La Pampa
Calle 110 Esq. 9 (6360) General Pico – La Pampa – Rep. Argentina
Te. / Fax: (02302) 422780/422372, Int. 6302

e-mail: ¹{alfonsoh, saltoc, minettig, nstark@ing.unlpam.edu.ar },

²bermudezc@yahoo.com, ³orellanaalina@gmail.com, ⁴pmg_xxi@yahoo.com.ar

CONTEXTO

El Proyecto de Investigación “*Sistemas Metaheurísticos para Resolver Problemas de Optimización*” es llevado a cabo en el Laboratorio de Investigación de Sistemas Inteligentes (LISI), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Pampa. El mismo surge como consecuencia de un trabajo sostenido que se comenzó en 1997 a través del estudio de Algoritmos Genéticos.

La profundización en el tema y la propia evolución, tanto de la línea de investigación como del grupo de investigación, han llevado a extender el estudio a otras metaheurísticas que han permitido abordar problemas de mayor complejidad o resolver instancias de mayor dimensión a las ya abordadas.

RESUMEN

En la actualidad las empresas deben enfrentar un conjunto de problemas logístico-operativos, de alta complejidad, conocidos en la comunidad científica como problemas de optimización combinatoria. Actualmente, en esta comunidad se observa una importante tendencia a resolver dichos problemas con la utilización de algoritmos heurísticos y metaheurísticos.

Nuestro grupo está abocado al diseño y desarrollo de algoritmos heurísticos y metaheurísticos que resuelvan problemas de optimización. En particular se ha puesto especial énfasis en: el problema de corte y empaquetado, y en el de planificación y

programación de recursos y en el ensamblado de fragmentos de ADN. Tanto la optimización de la planificación de recursos como la de generación de patrones de cortes, reducen significativamente los costos de los distintos recursos involucrados. Esto se debe a la mejor utilización que se hace de los mismos, lograda por medio de la aplicación de metaheurísticas. Por otro lado, las metaheurísticas también permiten resolver problemas de optimización en el área de la bioinformática; la cual se beneficia con la capacidad de hacer búsquedas en el espacio de problemas realmente grandes, en un tiempo razonable sin necesidad del uso de información extra. Estas son ventajas que no ofrecen los algoritmos específicos de esta área.

Ya sea en el contexto industrial como en el bioinformático, las metaheurísticas han sido juzgadas o evaluadas como beneficiosas, ya que con un esfuerzo limitado se pueden alcanzar buenos resultados con gran versatilidad. Actualmente dos de las ramas con más éxito para diseñar metaheurísticas eficientes, y dar solución a estos problemas, son la hibridación y el paralelismo.

Palabras clave: *metaheurísticas, computación paralela, optimización combinatoria, métodos de búsqueda híbrida.*

1. INTRODUCCION

Las Metaheurísticas [7] emergieron como una nueva clase de algoritmos de búsqueda aproximados que, básicamente, combinan las características de los métodos heurísticos

básicos en estructuras de mayor nivel, intentando con ello alcanzar una mayor eficiencia y efectividad en la exploración del espacio de búsqueda. El término “*metaheurística*” fue introducido en 1986 por Glover y deriva de la composición de dos palabras griegas *Heuristic*, que significa encontrar, y *meta*, que significa "más allá, en un nivel superior". Luego, este término fue ampliamente adoptado y también frecuentemente es denominado *heurísticas* modernas [16].

Muchos problemas de optimización, de importancia tanto teórica como práctica, buscan la mejor configuración de un conjunto de variables para alcanzar el objetivo planteado por el mismo. Ellos en forma natural se dividen en dos categorías: aquellos cuyas soluciones están codificadas con variables reales y aquellos que necesitan variables discretas.

Dentro de esta última clase de problemas podemos identificar a los bien conocidos *Problemas de Optimización Combinatoria (POC)*. Estos problemas requieren de la búsqueda de la mejor solución dentro de un determinado espacio de soluciones, para ello se desarrollan diferentes algoritmos que pueden evidenciar distinto grado de *eficiencia* y *eficacia* en alcanzar tal objetivo.

Los algoritmos que atacan a estos problemas pueden ser a su vez clasificados como *completos* o *aproximados*. Los algoritmos completos están garantizando encontrar para cada instancia del problema de tamaño finito una solución óptima en tiempo limitado (ver [13 y 15]). Para POCs que sean **NP-duros** [6], no existen algoritmos que los resuelvan en tiempo polinomial, asumiendo que $P \neq NP$. Por lo tanto, los métodos completos deben necesitar tiempo de computación de orden exponencial en el peor de los casos. Esto conlleva a que para algunas instancias grandes se requiera un tiempo computacional demasiado grande para el propósito práctico perseguido. Por ello, el uso de los métodos aproximados para la resolución de POCs ha recibido mucha atención en las últimas tres

décadas. *Estos métodos sacrifican la garantía de alcanzar soluciones óptimas por la de encontrar buenas soluciones en un tiempo significativamente reducido.*

Resumiendo, se puede decir que las metaheurísticas son estrategias de alto nivel para la exploración de espacios de búsqueda usando diferentes métodos. Es por ello muy importante, que permitan un balance dinámico entre *diversificación* e *intensificación* de la búsqueda. El primero de los términos está asociado al concepto de exploración de diversas regiones del espacio de búsqueda y el segundo, a la explotación del espacio de búsqueda perteneciente al vecindario de una solución de calidad.

Hay diferentes formas de clasificar y describir los algoritmos metaheurísticos.

Nuestro proyecto se ha centrado en el estudio de un conjunto de metaheurísticas que responden a una de las clasificaciones posibles. Ésta distingue entre búsqueda basada en población versus soluciones simples, la cual divide las metaheurísticas en métodos basados en trayectoria y métodos basados en población, ya que la misma permite un mejor encuadre de los algoritmos a utilizar. Sin embargo, es necesario destacar que una tendencia actual es la de hibridar los distintos métodos ya sea para obtener mejores soluciones o soluciones más rápidamente. En esa hibridación es común integrar algoritmos de búsqueda de soluciones simples en algoritmos basados en población.

Métodos Basados en Trayectoria

El término Método Basado en Trayectoria es usado porque el proceso de búsqueda llevado a cabo se caracteriza por determinar una trayectoria en el espacio de soluciones. Por lo tanto, una solución sucesora puede o no pertenecer al vecindario de la actual. Entre estos métodos se destacan: Búsqueda Local Básica: Mejoramiento Iterativo, Recocido Simulado (Simulated Annealing - SA), Búsqueda Tabú (Tabu Search - TS), Métodos de Búsqueda Local Explorativa, Búsqueda Adaptativa Aleatoriamente Voraz (Greedy

Randomized Adaptive Search Procedure - GRASP), Búsqueda en Vecindario Variable (Variable Neighborhood Search - VNS), Búsqueda Local Guiada (Guided Local Search - GLS) y la Búsqueda Local Iterada (Iterated Local Search - ILS).

Métodos Basados en Población

Los métodos basados en población operan en cada iteración del algoritmo con un conjunto de soluciones, denominada *población*. Así ellos, en forma natural, exploran el espacio de búsqueda desde varias regiones a la vez. El resultado final depende de la forma en que la población es manipulada. Los métodos basados en población más ampliamente estudiados son los Algoritmos Evolutivos (Evolutionary Algorithms - EAs), la optimización de Colonia de Hormigas (Ant Colony Optimization - ACO), Optimización por Cúmulo de Partículas (Particle Swarm Optimization - PSO) y Búsqueda Dispersa (Scatter Search - SS).

2. LINEAS DE INVESTIGACION y DESARROLLO

En la actualidad estamos trabajando con dos áreas muy prometedoras, una de ellas es la hibridación de distintas metaheurísticas y la otra es la paralelización de las mismas.

Hibridación de Metaheurísticas

Es importante destacar que existen distintas formas de hibridación:

- Intercambio de Componentes entre Metaheurísticas. Una de las formas más populares de hibridación es la incorporación de métodos de trayectoria en métodos basados en población. La combinación más popularmente utilizada son EAs que usan procedimientos de búsqueda local para intensificar la búsqueda en áreas más prometedoras.
- Búsqueda Cooperativa. Una forma más amplia de hibridación es provista por la búsqueda cooperativa (ver [2 y 9]) que consiste de una búsqueda realizada por

distintos algoritmos que intercambian información acerca de estados, modelos, subproblemas íntegros, soluciones u otras características del espacio de búsqueda. Generalmente, son algoritmos de búsqueda que se ejecutan en paralelo con un nivel variable de comunicación. Pueden ser que los algoritmos que están cooperando respondan a un modelo idéntico (enfoque homogéneo) o bien que respondan a distintos modelos (enfoque heterogéneo). Este enfoque, en la actualidad, recibe mucha atención debido a la creciente investigación sobre implementaciones paralelas de metaheurísticas.

- Integrando Metaheurísticas y Métodos Sistemáticos. Este enfoque recientemente ha producido muchos algoritmos efectivos, especialmente aplicados a problemas del mundo real. Diversas formas de integración se resumen en Freuder et al. [5]. La hibridación es frecuentemente llevada a cabo integrando conceptos desarrollados para metaheurísticas (por ejemplo, elecciones probabilísticas, criterios de aspiración, construcción de heurísticas) en un método de búsqueda de árbol.

Paralelización de Metaheurísticas

Desde mediados de la década de los 80's se han propuesto versiones paralelas de los métodos metaheurísticos con una frecuencia que va en aumento. Los objetivos que generalmente se usan para justificar la realización del cómputo en paralelo son dos. En primer lugar, el tiempo de cómputo más razonable para resolver instancias del problema de mayor tamaño o formuladas en forma más cercanas a la realidad. En segundo lugar, las metaheurísticas paralelas pueden ser más robustas que las versiones secuenciales relativas a diferencias en tipos y características del problema y la adecuada calibración paramétrica.

Las metaheurísticas más frecuentemente paralelizadas son las evolutivas, ya sean

algoritmos genéticos o sistemas de colonia de hormigas, y métodos de recocido simulado o procedimientos de búsqueda tabú. Independientemente de la característica metodológica, Crainic et al. [4] han propuesto una clasificación de acuerdo al nivel de impacto que la estrategia de paralelización tiene sobre el diseño algorítmico de la metaheurística. Las tres estrategias son:

- Paralelización de operaciones dentro de una iteración del método. Esta estrategia, también llamada estrategia de bajo nivel, es bastante sencilla y ayuda a agilizar los cómputos. Alcanza los mismos resultados que el método secuencial sólo que más rápido.
- Descomposición del dominio del problema o espacio de búsqueda. Esta estrategia está basada en el principio que el poder computacional puede ser dedicado a resolver una gran cantidad de pequeñas partes del problema, sobre las cuales una solución global puede ser construida o extraída. Aquí la trayectoria de la búsqueda resultante en el enfoque paralelo es diferente a la seguida en el enfoque secuencial.
- Caminos de búsqueda múltiples con varios grados de sincronización y cooperación. Esta estrategia intenta realizar una mayor exploración del espacio de búsqueda iniciando varios procesos de búsqueda simultánea en el mismo espacio.

3. RESULTADOS OBTENIDOS/ESPERADOS

Durante los últimos años el grupo ha profundizado en el estudio e implementación de diversas metaheurísticas, cuyo rendimiento se ha evaluado sobre un conjunto de funciones que responden a diversas características [14]. En todos los casos, los resultados alcanzados se han contrastado con los publicados en la literatura de referencia. Dependiendo de las características de los problemas abordados se han incorporado mecanismos de búsqueda

local en los EAs, introduciendo la hibridación [17, 10 y 12].

Las metaheurísticas se han implementado usando un software libre, desarrollado en un marco de cooperación entre tres universidades españolas: Málaga, La Laguna y Barcelona, denominado MALLBA [1].

Los estudios realizados sobre las distintas metaheurísticas consisten en: evaluar la calidad de los resultados obtenidos, medir el rendimiento al paralelizar el proceso usando un modelo isla (que permite realizar la búsqueda independiente de buenas soluciones, para luego migrar los resultados a las restantes islas, y así, cooperar en el proceso de búsqueda global). En este último caso se han realizado estudios para determinar la topología y la política de migración que resulten más adecuadas [3].

También se está trabajando en la búsqueda de soluciones a problemas de alta complejidad mediante el diseño de metaheurísticas para los siguientes problemas: de corte y empaquetado de dos dimensiones [17, 18 y 19], el problema de ensamblado de fragmentos de ADN [10, 11, 12] y el problema de ruteo de vehículos con capacidad limitada (CVRP) [8]. Algunos de los avances logrados ya han sido comunicados en revistas específicas y se continúa trabajando en estas líneas de investigación. Los primeros dos problemas son los abordados en las tesis doctorales de dos integrantes del equipo.

4. FORMACION DE RECURSOS HUMANOS

Desde su origen, el LISI ha mantenido un estrecho contacto con grupos de UNSL y de UNPA. Desde 2002 se comenzó a trabajar en forma conjunta con el grupo NEO de la Universidad de Málaga (España), lo que ha permitido realizar un trabajo cooperativo muy rico. Actualmente, dos integrantes del LISI se encuentran escribiendo sus tesis doctorales con dirección de docentes investigadores de UMA y UNSL.

Por otra parte, a lo largo del año 2008 otros dos integrantes del grupo han presentado tesis

para alcanzar el título de Ingeniero en Sistemas, a partir de las actividades concretas que desarrollaron en el LISI, y se estima que para el corriente año otro integrante realice la defensa de su tesis.

Desde el inicio del LISI, se han formado varios becarios en iniciación de la investigación, algunos de los cuales son miembros activos del actual proyecto.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] E. Alba, F. Almeida, M. Blesa, C. Cotta, M. Díaz, I. Dorta, J. Gabarro, J. Gonzalez, C. León, L. Moreno, J. Petit, J. Roda, A. Rojas y F. Xhafa. MALLBA: Towards a Combinatorial Optimization Library for Geographically Distributed Systems. Proc. of the XII Jornadas de Paralelismo. Pag. 105-110. [Http://citeseer.nj.nec.com/alba01mallba.html](http://citeseer.nj.nec.com/alba01mallba.html). 2001.
- [2] V. Bachelet, E-G. Talbi. Cosearch: a co-evolutionary metaheuristic. In Congress on Evolutionary Computation CEC'2000, pag. 1550-1557, 2000.
- [3] C. Bermúdez, H. Alfonso y C. Salto. Analizando el Desempeño de Distintas Topologías en Algoritmos Evolutivos Distribuidos. En los anales del XIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2008), 2008.
- [4] T. Crainic y M. Toulouse. Parallel metaheuristics. Fleet management and logidtics, pag. 205-251, 1998.
- [5] E.C. Freuder, R. Dechter, M.L. Ginsberg, B. Selman, y E.P.K. Tsang. Systematic versus stochastic constraint satisfaction. In Proceedings of the Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI 95, vol 2, pag. 2027-2032, Montreal, Quebec, Canada. Morgan Kaufmann. 1995.
- [6] M. Garey y D. Johnson. Computers and Intractability: a Guide to the Theory of NP-completeness. Freeman, San Francisco, California, 1979.
- [7] F. Glover. Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. Computers and Operations Research, vol. 13, pag. 533--549, 1986.
- [8] P. Graglia, N. Stark, C. Salto y H. Alfonso. A Comparison of Recombination Operators for Capacitate Vehicle Routing Problem. En los anales del XIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2008), 2008.
- [9] T. Hogg y C.P. Williams. Solving the really hard problems with cooperative search. In Proceedings of the 11th National Conference on Artificial Intelligence, AAAI, pag. 231-236, Washington, DC, USA. The AAAI Press/The MIT Press. 1993.
- [10] G. Minetti, E. Alba y G. Luque. Variable Neighborhood Search for Solving the DNA Fragment Assembly Problem. En los anales del XIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2007), 2007.
- [11] G. Minetti, E. Alba y G. Luque. Seeding Strategies and Recombination Operators for Solving the DNA Fragment Assembly Problem. Information Processing Letters 108, pag 94–100. ISSN: 0020-0190. 2008
- [12] G. Minetti, G. Luque y E. Alba. Variable Neighborhood Search as Genetic Algorithm Operator for DNA Fragment Assembling Problem. Anales de la Eighth International Conference on Hybrid Intelligent Systems, HIS 2008, pag. 714-719. ISBN: 978-0-7695-3326-1, 2008.
- [13] G. Nemhauser y L. Wolsey. Integer and Combinatorial Optimization. John Wiley, New York, 1998.
- [14] A. Orellana y G. Minetti. A Phenotypic Analysis of Three Population-based Metaheuristics. Anales del IX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2008), 2008.
- [15] C.H. Papadimitriou y I.C. Steiglitz. Combinatorial Optimization: Algorithms and Complexity. Prentice-Hall, Englewood Cliffs edition, 1982.
- [16] C.R. Reeves. Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems. Advanced Topics in Computer Science. Mc Graw-Hill, 1995.
- [17] C. Salto, G. Leguizamón, E. Alba y J.M. Molina. Hybrid Ant Colony System to Solve a 2-Dimensional Strip Packing Problem. En los anales de Internacional Conference on Hibrid Intelligent Systems (HIS08), pág 708-713. Publicado en CD-ROM. ISBN: 978-0-7695-3326-1, 2008.
- [18] C. Salto, J.M. Molina y E. Alba. Greedy Seeding and Problem Specific Operators for GAs Solving Strip Packing Problems. In "Optimization Techniques for Solving Complex Problems", E. Alba, C. Blum, P. Isasi, C. León, and J.A. Gómez (Editors), A Wiley Interscience Publication, JOHN WILEY & SONS, (in Press). ISBN: 978-0-470-29332-4. 2008
- [19] C. Salto, G. Leguizamón, E. Alba, y J.M. Molina. Evolutionary and ACO Based Approaches for Two-dimensional Strip Packing Problem. In "Natural Intelligence for Scheduling, Planning, and Packing Problems", Springer-Verlag in the series "Studies in Computational Intelligence". Raymond Chiong (editor). In press. 2008