

# Algoritmos Evolutivos para Resolver el Problema de Ruteo de Vehículos con Capacidad Limitada

Patricia Graglia<sup>2</sup>, Natalia Stark<sup>1</sup>, Salto Carolina<sup>1</sup>, Hugo Alfonso<sup>1</sup>

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: <sup>1</sup>{nstark, saltoc, alfonsoh @ing.unlpam.edu.ar }, <sup>2</sup>pmg\_xxi@yahoo.com.ar

## Resumen

Una de las líneas de trabajo en nuestro laboratorio, consiste en el diseño y el desarrollo de algoritmos heurísticos y meta heurísticos que resuelvan una de las variantes del problema de optimización conocido como Problema de Ruteo de Vehículos, reconocido internacionalmente con la sigla VRP (Vehicle Routing Problem). VRP es uno de los problemas del área de logística y tráfico que ha recobrado mayor importancia básicamente por el gran interés práctico ya que se lo vincula a toda una gama de problemas de optimización de similares características.

La optimización de la planificación de recursos reduce significativamente los costos de los distintos recursos involucrados.

La hibridización y el paralelismo son dos de las técnicas que han permitido diseñar meta-heurísticas y dar solución a problemas de optimización. Estas meta-heurísticas han logrado, con un esfuerzo razonable, alcanzar buenos resultados.

Con estas líneas trabajo se pretende encontrar soluciones al problema de ruteo de vehículos con capacidad limitada (CVRP) mediante técnicas meta-heurísticas que resulten más eficaces y eficientes que las actuales; logrando un conjunto de diversas soluciones de buena calidad y en un intervalo de tiempo razonable, como es requerido en situaciones reales.

## Introducción

Muchos problemas de optimización discreta buscan la mejor configuración de un conjunto de variables para alcanzar el objetivo planteado por el mismo. Una clase de ellos que se destaca especialmente es la conocida con el nombre de *Problemas de Optimización Combinatoria (POC)*. Estos problemas requieren de la búsqueda de la mejor solución dentro de una determinada área finita de búsqueda, para ello se desarrollan diferentes algoritmos que pueden evidenciar distinto grado de *eficiencia* y *eficacia* en la búsqueda de tal solución. Para estos problemas se han desarrollado algoritmos que pueden ser 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 [15, 18]. Para POC que sean *NP*-duros [10], no existe algoritmo en tiempo polinomial.

Por lo tanto, los métodos completos deben necesitar tiempo de computación de orden exponencial en el peor de los casos. Esto conlleva que para mayores instancias se requiera un tiempo computacional demasiado grande para el propósito práctico perseguido.

En las últimas dos décadas, emergió una nueva clase de algoritmos aproximados que 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. Actualmente, estos métodos reciben el nombre de *metaheurísticos*. Algunos de estos métodos están inspirados en la naturaleza y en vez de basar la búsqueda en una única solución lo hacen sobre varias soluciones simultáneamente, pudiendo las soluciones responder a una única estructura o varias.

De estos métodos que trabajan sobre varias soluciones surgen los llamados métodos basados en población, siendo uno de ellos el conocido *Algoritmo Evolutivo –AE*, que cubren un amplio campo de aplicación. Estos algoritmos están inspirados en las capacidades naturales de como la evolución de la vida se va adecuando a las condiciones medioambientales [14]. El éxito alcanzado resolviendo problemas de gran complejidad no fue descubierto hasta principios de los ochenta, a pesar de que sus orígenes se remontan a finales de los cincuenta.

Los AE, a pesar de usar procesos estocásticos obtienen resultados que son claramente no aleatorios, la componente determinista del algoritmo –función de evaluación– orienta la dirección de la búsqueda, mientras que la parte aleatoria se encarga de la explotación de la búsqueda local. Ellos mantienen un conjunto de estructuras (población) que evolucionan acorde con las reglas de selección y los denominados operadores de búsqueda tales como la recombinación y la mutación.

La población de individuos representa un conjunto de soluciones potenciales a un problema de optimización dado, y es sometida a una serie de operadores probabilísticos (mutación, selección y recombinación).

Cada uno de los individuos posee una medida de su adaptación al entorno llamada fitness o adecuación. La adecuación de un individuo refleja el valor de la función objetivo que se busca optimizar.

La reproducción pone atención en los individuos con mejor adaptación, de ahí que explote la información disponible en los individuos. Por otro lado, la *recombinación* y la *mutación* alteran dichos individuos suministrando un medio para la exploración. El operador de *mutación* introduce innovación en la población, variando los cromosomas de los individuos. La *recombinación* intercambia información entre distintos individuos de la población.

El Problema de Ruteo de Vehículos con capacidad limitada (CVRP) es una de las variantes del Problema de Ruteo de Vehículos (VRP) que es considerado emblemático en el campo de la logística y tráfico, remontándose su tratamiento a los años 1960's [5, 6, 7]. Desde la década del 90 se han realizado significativos aportes teóricos y prácticos introduciendo enfoques metaheurísticos tales como Tabu Search [11], Simulated Annealing [17], Colonias de Hormigas [4], Algoritmos Evolutivos [3, 9, 20], entre otros.

El CVRP consiste en encontrar un conjunto de rutas con la menor distancia posibles que les permita a los vehículos de una empresa entregar los pedidos solicitados por sus clientes. Cada uno de los vehículos cuenta con una determinada capacidad de traslado, la cual no puede ser superada, y comienza y finaliza su recorrido en el depósito. Todos los clientes deben ser atendidos y la demanda de cada uno de ellos no puede ser fraccionada, o sea que la carga de un cliente es transportada completamente por un único vehículo.

### **Tareas de Investigación y Desarrollo**

Básicamente las tareas de investigación y desarrollo consisten en: profundizar y modificar la herramienta de software Mallba [1], la cual permite la generación de algoritmos meta-heurísticos híbridos, multiobjetivos, descentralizados y paralelos;

analizar codificaciones para la representación de las soluciones del problema en estudio; estudiar el comportamiento de algoritmos evolutivos para resolver CVRP con distintos operadores de cruce y mutación; analizar la incorporación de operadores de búsqueda local; analizar el comportamiento de los algoritmos implementados, poniendo especial énfasis en las ventajas proporcionadas por los algoritmos distribuidos y paralelos con respecto a sus pares secuenciales.

Cabe aclarar que se ha avanzado en estas tareas. Se han realizado diferentes experimentos sobre la estructura algorítmica del paquete Mallba. Se empleó un algoritmo genético al cual se le incorporó el módulo correspondiente al problema CVRP. Se optó por implementar una representación del problema propuesta por Alba y Dorronsoro [2] y los operadores de cruce tradicionales, para el tipo de representación seleccionado: Edge Recombination Crossover (ERX) [21], Partial Mapped Crossover (PMX) [12], Order Crossover (OX) [8] y Cycle Crossover (CX) [16]. La principal desventaja de esos operadores es que no incorporan conocimiento del problema para llevar a cabo el intercambio de información genética. Por lo tanto, siguiendo la propuesta por Salto et al. para un problema de empaquetado [19], hemos propuesto nuevos operadores de recombinación, los cuales transmiten las mejores características de uno de los padres (en este caso se traduce a mejores recorridos) al hijo durante el proceso de recombinación, con el propósito de minimizar el recorrido total. Por otra parte se ha investigado en la literatura los operadores de mutación aplicables a este problema, resultando los más utilizados intercambio, inversión e inserción. Se han realizado pruebas combinando los tipos de cruces antes mencionados con los operadores de mutación con el objetivo de obtener la mejor combinación de operadores para resolver de manera eficiente el problema en cuestión. Por otra parte, se está estudiando la conveniencia de aplicar el operador de búsqueda local 2-OPT [13] en distintas etapas del proceso evolutivo.

### **Resultados Esperables**

Se espera obtener algoritmos meta-heurísticos que resuelvan eficaz y eficiente mente el problema de ruteo de vehículos con capacidad limitada (CVRP) donde se halla logrado incorporar un diseño apropiado de la representación de las soluciones, junto con un conjunto de operadores que incorporen conocimiento del problema. Además de, definir y estudiar extensiones paralelas de los modelos desarrollados, de manera que, no sólo se aproveche la potencia numérica inherente a las técnicas descentralizadas sino, que también se puedan obtener ganancias en tiempo real al utilizar un conjunto de computadoras para resolver el problema mencionado.

### **Referencias Bibliográficas**

- [1] Alba E, Almeida F, Blesa M, Cotta C, Díaz M, Dorta I, Gabarro J, Gonzalez J, León C, Moreno L, Petit J, Roda J, Rojas A, Xhafa F. MALLBA: Towards a Combinatorial Optimization Library for Geographically Distributed Systems. Proc. of the XII Jornadas de Paralelismo. 2001. Pages 105-110. [Http: citeseer.nj.nec.com/alba01mallba.html](http://citeseer.nj.nec.com/alba01mallba.html)
- [2] Alba E, Dorronsoro B. Solving the Vehicle Routing Problem by Using Cellular Genetic Algorithms. Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization – EvoCOP, 2004. pp 11-20

- [3] Baker B M, Ayechev M. A. A genetic algorithm for the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, Volume 30, Issue 5, April 2003, Pages 787-800.
- [4] Bell J, McMullen P. Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem. *Advanced Engineering Informatics*. Elsevier. 2004; 18; 41-48.
- [5] Christofides N, Eilon S. An Algorithm for the vehicle dispatching problem. *Oper Res Quarterly*, 1969; 20 (3): 309-18.
- [6] Christofides N, Mingozzi A, Toth P. The vehicle routing problem. In *Combinatorial Optimization*. Chichester: Wiley; 1979. 315-38.
- [7] Clark G, Wright JW. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Oper Res*. 1964; 12:568- 81.
- [8] Davis L. Applying adaptive algorithms to domains, In *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence*. 1985. pp 162-164.
- [9] Filipec, M. Skrlec, D. Krajcar, S. An efficient implementation of genetic algorithms for constrained vehicle routing problem. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 1998. V: 3, 2231-2236.
- [10] Garey M, Johnson D. *Computers and Intractability: a Guide to the Theory of NP-completeness*. Freeman. San Francisco, California. 1979.
- [11] Gendreau M, Hertz A, Laporte G. A tabu search heuristic for the vehicle routing problem. *Manage. Sci.* Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS), Linthicum, Maryland, USA. 1994; Vol 40; pp 1276-1290.
- [12] Goldberg D, Lingle Jr. R. Alleles, loci, and the traveling salesman problem. *Proceedings of the 1st International Conference on Genetic Algorithms and their Applications*. Pittsburgh, PA. 1985. pp 154-159.
- [13] Lin, S. 1965. Computer solutions of the traveling salesman problem. *Bell System Tech. J.* 44 2245-2269.
- [14] Michalewicz Z. *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolutions Programs (Third, Revised and Extended Edition)*. 1999. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg New York.
- [15] Nemhauser G, Wolsey L. *Integer and Combinatorial Optimization*. John Wiley. New York. 1998.
- [16] Oliver, I. M., Smith, D. J., and Holland, J. R. C. A Study of Permutation Crossover Operators on the Traveling Salesman Problem. *Proceedings of the 2nd International Conference on Genetic Algorithms*. 1987. pp 224-230.
- [17] Osman I H, Metastrategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem. *Ann. Oper. Res.*, J. C. Baltzer AG, Science Publishers. 1993. Vol 41; pp 421-451.
- [18] Papadimitriou C, Steiglitz I. *Combinatorial Optimization: Algorithms and Complexity*. Prentice-Hall. 1982.
- [19] Salto, C., Molina, J.M., Alba, E.: Evolutionary algorithms for the level strip packing problem. *Proc. of the Workshop on Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization*. 2006. pp.137–148
- [20] Xu Y L, Lim M H, Er M J. Investigation on Genetic Representations for Vehicle Routing Problem, *IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics*, Hawaii, U.S.A., Oct., 2005.
- [21] Whitley D, Starkweather T, Fuquay D. Scheduling problems and traveling salesman: the genetic edge recombination, *Proceedings of the third international conference on Genetic algorithms*. 1989, pp 133-140.