

## Metaheurísticas híbridas y paralelas aplicadas a problemas de ruteo de vehículos

Villagra S., Pandolfi D., Lasso M., Mercado V., Orozco S., Serón N., Vidal P., Montenegro C., Villagra A.

Laboratorio de Tecnologías Emergentes (LabTEM)

Unidad Académica Caleta Olivia

Universidad Nacional de la Patagonia Austral

{svillagra, dpandolfi, mlasso, vmercado, sorozco, nseron, pjvidal, cmontenegro, avillagra}@uaco.unpa.edu.ar

Leguizamón G.

Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Computacional (LIDIC)

Departamento de Informática - Universidad Nacional de San Luis

legui@unsl.edu.ar

### Resumen

El problema de ruteo de vehículos (*Vehicle Routing Problem* o las siglas en inglés VRP) es un problema de optimización combinatoria de gran importancia en diferentes entornos logísticos debido a su dificultad. Se han propuesto varias soluciones a este problema haciendo uso de heurísticas y metaheurísticas.

En el presente trabajo se describe la investigación abordada en el campo de las metaheurísticas híbridas y paralelas para resolver VRP y otros dominios afines. Principalmente se realiza la investigación y desarrollo de algoritmos híbridos basados en algoritmos genéticos celulares incorporando componentes de otras metaheurísticas, los cuales son validados a través de estudios experimentales intensivos y analizados rigurosamente bajo la teoría estadística apropiada.

**Palabras clave:** Algoritmos Genéticos Celulares, Hibridación, Metaheurísticas, Paralelismo, Problemas de Ruteo de Vehículos.

### Contexto

La línea de investigación presentada en este documento se lleva a cabo en el Laboratorio de Tecnologías Emergentes (LabTEM) en el marco del Programa de Investigación en Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Unidad Académica Caleta Olivia, la cual se desarrolla en el Proyecto de Investigación “Metaheurísticas avanzadas y de población descentralizada para problemas de ruteo de vehículos”.

### Introducción

El VRP consiste en generar rutas de reparto dado una cantidad de clientes por atender, un conjunto de vehículos de reparto y un punto de origen, permitiendo minimizar ciertos factores que ayuden a la empresa a obtener beneficios [1][2].

El interés de este problema viene dado por dos causas principales. Por un lado, el VRP es un problema *NP-duro* [3] y de alto interés académico debido a su dificultad en las restricciones que incluye, y en la multitud de variantes existentes. Por otro lado, muchos problemas del mundo

real pueden ser visualizados (o concebidos) como variantes de VRP. Existe una evolución constante en la calidad de las metodologías empleadas para resolverlo, tanto algoritmos exactos como métodos heurísticos (secuenciales y paralelos). Debido a la dificultad que presenta el problema, no existe ningún método exacto capaz de resolver instancias de más de 50 clientes [4].

Algunas de las metaheurísticas más comúnmente utilizadas en el VRP y sus variantes son por ejemplo, los Algoritmos Genéticos (AGs) [5] que han tenido éxito en resolver problemas de ruteo de vehículos, corte de empaquetado (*Strip Packing*), entre muchos otros.

En los últimos años, ha aumentado considerablemente el interés en las metaheurísticas híbridas en el campo de la optimización. En este sentido estudiaremos principalmente algoritmos genéticos celulares simbióticos enriquecidos con componentes activas de otras metaheurísticas.

En lo relacionado a metaheurísticas paralelas aplicadas al VRP existen muchas contribuciones y tendencias. Pueden encontrarse diferentes métodos paralelos para variantes del VRP en [6]. No obstante, el campo de las metaheurísticas paralelas es muy rico en cuanto a la variedad de metodologías utilizadas, y no todas las variantes del VRP se han abordado. Por lo tanto, se realizará la exploración de algunas variantes de VRP, la búsqueda de metodologías y estrategias de paralelización.

## Líneas de investigación y desarrollo

En esta sección se describe la línea de investigación que se lleva a cabo en el proyecto:

- Metaheurísticas híbridas y paralelas aplicadas al problema de ruteo de vehículos.

El concepto de optimización puede verse como el proceso de encontrar y mejorar el rendimiento de una aplicación o dispositivo a partir de determinados cambios lógicos o físicos.

En las dos últimas décadas ha emergido un nuevo tipo de técnicas aproximadas, llamadas metaheurísticas, que consiste básicamente en la combinación de métodos heurísticos básicos en plataformas de más alto nivel con el fin de explorar el espacio de búsqueda de una forma eficiente y efectiva. En [7] se pueden encontrar recopiladas varias definiciones de metaheurísticas dadas por diferentes autores. Entre algunas metaheurísticas podemos nombrar: *Simulated Annealing* [8], *Tabu Search* [9], procedimiento de búsqueda adaptativo aleatoriamente voraz (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure-GRASP*) [10], búsqueda por vecindario variable (*Variable Neighborhood Search-VNS*) [11], y otros basados en una población, tales como algoritmos evolutivos (AEs) [12], optimización por colonia de hormigas (*Ant Colony Optimization-ACO*) [13], optimización por cúmulo de partículas (*Particle Swarm Optimization-PSO*) [14], las cuales se abordarán en esta línea de investigación.

En los últimos años se han obtenido buenos resultados en muchos problemas de optimización clásicos y de la vida real utilizando metaheurísticas híbridas. Talbi en [15] y [16] propone una taxonomía para algoritmos híbridos y presenta dos clasificaciones para este tipo de algoritmos: jerarquizada y plana. Esta clasificación establece esquemas híbridos específicos en donde, en general, diferentes algoritmos son combinados de acuerdo a ciertos criterios. Sin embargo, en esta línea se pretende brindar una perspectiva diferente al esquema híbrido planteado previamente.

te. Más precisamente, se pretende crear algoritmos cuya construcción siga criterios similares a los establecidos para diseñar algoritmos híbridos, pero incorporando componentes de los algoritmos antes que al algoritmo como un todo.

En cuanto a la paralelización de metaheurísticas [17], [18], [19], se intenta no sólo reducir el tiempo de cómputo, sino producir también una mejora en la calidad de las soluciones encontradas. Esta mejora está basada en un nuevo modelo de búsqueda que alcanza un mejor balance entre intensificación y diversificación.

En cuanto a los modelos paralelos de metaheurísticas basadas en trayectoria encontrados en la literatura se pueden clasificar, generalmente, dentro de tres posibles esquemas: ejecución en paralelo de varios métodos (modelo de múltiples ejecuciones [20], [21]), exploración en paralelo del vecindario (modelo de movimientos paralelos), y cálculo en paralelo de la función de fitness (modelo de aceleración del movimiento). Podemos dividir las estrategias de paralelización en dos categorías: (1) paralelización del cómputo, donde las operaciones que se llevan a cabo sobre los individuos son ejecutadas en paralelo, y (2) paralelización de la población, donde se procede a la estructuración de la población. Uno de los modelos más utilizados que sigue la primera de las estrategias es el denominado maestro-esclavo (también conocido como paralelización global). Entre los esquemas más populares para estructurar la población encontramos el modelo distribuido (o de grano grueso) [22] y el modelo celular (o de grano fino) [23]. En el caso de los algoritmos distribuidos, la población se divide entre un conjunto de islas que ejecutan una metaheurística secuencial. Las islas cooperan entre sí mediante el intercambio de información. Esta cooperación permite introducir diversidad en las subpoblaciones, evitando caer así en los óptimos locales.

Por otro lado, las metaheurísticas celulares [24] se basan en el concepto de vecindario. La exploración y la difusión de las soluciones, al resto de la población, se produce debido a que los vecindarios están solapados, lo que produce que las buenas soluciones se extiendan lentamente por toda la población. Aparte de estos modelos básicos, en la literatura también se han propuesto modelos híbridos donde se implementan esquemas de dos niveles.

En lo relacionado a metaheurísticas paralelas aplicadas al problema de ruteo de vehículos existen muchas contribuciones y tendencias. Pueden encontrarse diferentes métodos paralelos para variantes del problema de ruteo de vehículos en [6]. No obstante, el campo de las metaheurísticas paralelas es muy rico en cuanto a la variedad de metodologías utilizadas, y no todas las variantes del problema de ruteo de vehículos se han abordado. Por lo tanto, es un desafío la exploración de algunas variantes de problema, la búsqueda de metodologías y estrategias de paralelización.

## **Resultados obtenidos/esperados**

Durante el último año el grupo ha analizado, hibridado y comparado distintas metaheurísticas para resolver el problema de VRP. Utilizamos un algoritmo genético simple AG, algoritmo MCMP-SRI [25] como algoritmo base, y dos hibridaciones que usan un operador de mutación basado en computación cuántica [26] y [27]. Los algoritmos híbridos perturban los alelos en el momento de realizar la mutación. Se realizan todas las combinaciones posibles de una ventana de tamaño de  $n$  ( $n=3$ ), evaluando en cada caso la solución obtenida y quedándose con el mejor valor (mejor *fitness*). Con respecto a los resultados obtenidos, éstos han sido satisfactorios en cuanto a calidad de los mismos. En trabajos futuros incluiremos

otras formas de hibridación y su aplicación a otras variantes de VRP.

Hemos realizado un estudio sobre un mecanismo de hibridación basado en el concepto de componentes activas que definimos como la “esencia” de una metaheurística. En otras palabras, aquellas partes de una metaheurística que caracterizan su comportamiento en cuanto a la forma que exploran el espacio de búsqueda. Además, hemos definido una metodología para su identificación y su posterior aplicación en una metaheurística anfitriona, en nuestro caso el algoritmo genético celular (cGA). Trabajamos con PSO y SA identificando componentes activas utilizando la metodología propuesta. Luego insertamos dentro de cGA (en diferentes operadores y mecanismos) las componentes activas identificadas con el objetivo de mejorar su performance. Para realizar los experimentos de los algoritmos híbridos propuestos utilizamos un *benchmarks* suficientemente amplio como para incluir un elevado número de características diversas, como la multimodalidad, epistasis, generadores de problemas, o problemas engañosos, que son especialmente diseñados para ser difíciles de resolver por algoritmos evolutivos. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, podemos decir que los algoritmos híbridos propuestos lograron un mayor porcentaje de éxito para obtener el valor óptimo comparado con un cGA canónico, en la mayoría de los problemas analizados. Nuestra propuesta de hibridación puede efectivamente mejorar la eficiencia de un cGA canónico. Estos resultados nos alientan para expandir el conjunto de problemas, en particular a variantes de VRP. Además de extender y mejorar la metodología para identificar componentes activas y aplicarlas a diferentes metaheurísticas anfitrionas.

Con respecto a metaheurísticas paralelas se pretende en esta línea realizar el es-

tudio, diseño y aplicación de estas metaheurísticas aplicadas a VRP y problemas afines realizando: (a) una recopilación y estudio de la bibliografía existente relacionada con el tema de trabajo; (b) la identificación fortalezas y debilidades de los algoritmos existentes; (c) el diseño y desarrollo de nuevos algoritmos metaheurísticos (los cuales pueden ser híbridos) y que resuelvan los problemas detectados en la fase anterior; (d) el análisis y evaluación de los algoritmos obtenidos y ; (e) la obtención, análisis y difusión de los resultados.

### Formación de recursos humanos

Dos integrantes de este proyecto de investigación están desarrollando su Tesis de Doctorado en temáticas afines.

Tres integrantes han comenzado su Maestría orientando sus cursos y trabajos a esta línea de investigación.

Se cuenta con dos becarios de investigación de grado.

### Referencias

- [1] Christofides, N., Mingozzi A. y Toth P. The vehicle routing problem. *Revue française d'automatique d'informatique et de recherche opérationnelle. Journal Combinatorial Optimization*. 1:315–338, 1979.
- [2] Laporte, G. The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European J. Operational Research*. 59:345-358, 1992.
- [3] Lenstra J.K. y Rinnooy Kan A.H.G., “Complexity of vehicle routing y scheduling problems,” *Networks*. 11:221–227, 1981.
- [4] Toth P. y Vigo D., *The Vehicle Routing Problem, Monographs on Discrete Mathematics y Applications*. SIAM, Philadelphia, 2001.

- [5] Goldberg, D. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-wesley. 1989.
- [6] Crainic T.G. Parallel solution methods for vehicle routing problems. *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances & New Challenges*, 2008, Springer.
- [7] Blum C. y Roli A. Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview y conceptual comparison. *ACM Computing Surveys*, 35(3):268–308, 2003.
- [8] Cerney V. A thermodynamical approach to the travelling salesman problem: an efficient simulation algorithm. *Journal of optimization theory and applications*. 45(1): 41-51, 1985.
- [9] Glover F. y Laguna M. Tabu search in *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*. John Wiley y Sons, 1993.
- [10] Resende M. y Ribeiro C. *Handbook of Metaheuristics*, chapter Greedy randomized adaptive search procedures, pages 219–249. Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [11] Hansen P. y Mladenovic N. Variable neighborhood search for the p-median. *Location Science*, 5(4):207–226, 1997.
- [12] Bäck T., Fogel D., y Michalewicz Z., editors. *Handbook of Evolutionary Computation*. Oxford University Press, 1997.
- [13] Corne D., Dorigo M., Glover F., editors. The ant colony optimization metaheuristic. *New Ideas in Optimization*, pages 11–32. McGraw Hill, 1999.
- [14] Eberhart R. y Kennedy J. A new optimizer using particles swarm theory. In *Sixth International Symposium on Micro Machine y Human Science (Nagoya, Japan)*, IEEE Service Center, Piscataway, pages 39–43, 1995.
- [15] Talbi, E.-G. A taxonomy of hybrid metaheuristics. *Heuristics, Journal of heuristics*, 8(5):541–564, 2002.
- [16] Talbi, E.-G. *Metaheuristics: From design to Implementation*. Wiley, 2009.
- [17] Alba E., editor. *Parallel Metaheuristics: A New Class of Algorithms*. Wiley, 2005.
- [18] Crainic T. G. y Toulouse M. Parallel strategies for metaheuristics. In F. W. Glover y G. A. Kochenberger, editors, *Handbook of Metaheuristics*, Norwell, MA, USA, 2003. Kluwer Academic Publishers.
- [19] Cung V., Martins S., Ribeiro C., y Roucairol C. Strategies for the Parallel Implementation of Metaheuristics. In C.C. Ribeiro y P. Hansen, editors, *Essays y Surveys in Metaheuristics*, pages 263–308, 2002. Kluwer Academic Publishers.
- [20] Alba E., Luna F., y Nebro A. J. Advances in parallel heterogeneous genetic algorithms for continuous optimization. *International Journal of Applied Mathematics y Computer Science*, 14(3):101 – 117, 2004.
- [21] Luna F., Alba E., y Nebro A. J. Parallel heterogeneous metaheuristics. In E. Alba, editor, *Parallel Metaheuristics*, pages 395 – 422. Wiley, 2005.
- [22] Alba E. *Análisis y Diseño de Algoritmos Genéticos Paralelos Distribuidos*. PhD thesis, University of Málaga, 1999.
- [23] Alba E. y Tomassini M. Parallelism y evolutionary algorithms. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(5):443 – 462, 2002.
- [24] Alba E. y Dorronsoro B. *Cellular Genetic Algorithms*. Springer 2008.
- [25] Villagra A., Pandolfi D. y Leguizamón G. Handling constraints with an evolutionary tool for scheduling oil wells maintenance visits. *Journal Engineering Optimization*. 45(8): 963—981, 2013.
- [26] Deutsch, D. Quantum theory, the church-turing principle and the universal quantum computer. 400:97–117. 1985.
- [27] Han, K y Kim, J. Quantum-inspired evolutionary algorithm for a class of combinatorial optimization. *IEEE Trans. Evolutionary Computation*, 6:580–593. 2002.