

# Algoritmo CHC aplicado a la optimización de coberturas de señales de radio frecuencia en comunicaciones inalámbricas en locaciones petroleras

Molina D., Villagra A., Villagra S., Valdez J.C., Rasjido J., Mercado V., Pandolfi D.

Laboratorio de Tecnologías Emergentes (LabTEM)

Instituto de Tecnología Aplicada (Caleta Olivia)

Universidad Nacional de la Patagonia Austral

{dmolina, avillagra, svillagra, jcvaldez, jrasjido, vmercado, dpandolfi}@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

La difusión de los servicios de comunicación inalámbricos (teléfono, internet, etc.) está creciendo continuamente en estos días. Desafortunadamente, el costo de los equipos para proporcionar el servicio con la calidad adecuada es alta. Por lo tanto, la selección de un conjunto de puntos geográficos que permiten la cobertura óptima de una señal de radiofrecuencia, reduciendo al mínimo el uso de los recursos es esencial. A esta tarea se la denomina diseño de red de radio (siglas RND del *inglés Radio Network Design*) y es un problema NP-duro, por lo que el uso de las metaheurísticas es un enfoque viable para su resolución. Las metaheurísticas son métodos que integran procedimientos de mejora local y estrategias de alto nivel para realizar una búsqueda robusta en el espacio del problema. Enfoques avanzados del algoritmo CHC (*Cross generational elitist selection Heterogeneous recombination Cataclysmic mutation algorithm*) son aplicados a la optimización de coberturas eficientes de señales de radio frecuencia en

comunicaciones inalámbricas en locaciones petroleras.

**Palabras clave:** Algoritmos Evolutivos, Optimización de Servicios Inalámbricos, Red de Radio Frecuencia, CHC.

## 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. En el ámbito de una convocatoria de proyectos de I&D UNPA, proyecto denominado: “Metaheurísticas avanzadas aplicadas al diseño eficiente de redes de radio frecuencia en comunicaciones inalámbricas en locaciones petroleras”.

## Introducción

El proceso de producción de petróleo (extracción, transporte y venta), involucra una amplia serie de controles en cada una de

sus etapas. Por lo tanto, el monitoreo y control del proceso es fundamental para cualquier compañía petrolera. Los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) permiten la gestión y control de cualquier sistema local o remoto gracias a una interfaz gráfica, *Human Machine Interface* (HMI), que comunica al usuario con el sistema. Para que el SCADA funcione se debe alimentar el sistema con señales de sensores ubicados a kilómetros de distancia, permitiendo controlar de forma automática los posibles puntos de falla que pueden provocar derrames generando pérdidas y un impacto ambiental. Para lograr la comunicación entre tanta cantidad de dispositivos (miles de pozos petroleros por yacimiento) se necesita una red de radio con una cobertura eficiente. Básicamente la red de radio es un conjunto de dispositivos interconectados de manera inalámbrica compuesto por un emisor y un receptor. El vínculo entre ambos puntos se realiza utilizando radio frecuencia basada en ondas hertzianas y el medio que transporta estas ondas es el aire. Las ondas al desplazarse por el espacio libre están sujetas a ruidos (atenuación, reflexión, refracción y difracción) provocados por fenómenos atmosféricos y obstáculos. Como consecuencia se generan pérdidas haciendo que muchas veces el receptor no sea capaz de decodificar el mensaje. Según Penin, [17], el problema del posicionamiento de antenas puede ser descrito como: dado un conjunto de sitios candidatos, un área geográfica discretizada y un conjunto de puntos que deben comunicarse entre sí, se debe seleccionar del conjunto de sitios candidatos un subconjunto de sitios, que maximicen la cobertura utilizando el mínimo de recursos, cumpliendo con la estimación de tráfico y el umbral de recepción de señal entre los puntos. Del diseño de la red de radio surgen dos aspectos: a) Topográfico: involucra todo lo relacionado con la posición

geográfica de las estaciones y la topología del salto, es decir, lo referido a las cotas y los accidentes del terreno, las coordenadas y azimut de las estaciones y la distancia entre estaciones. Para representar el área que se desea cubrir se necesita un método que permita generar un mapa digital con los valores más representativos del terreno y que sea la referencia de obstáculos para el modelo de propagación seleccionado. Se desarrollará una representación del terreno sobre el cual se realizará la distribución de las radio bases (antenas). b) Radio eléctrico: abarca todo lo vinculado a la propagación de la onda electromagnética como son los fenómenos de difracción, refracción, absorción, etc. El modelo requerido debe ser adaptable de manera sencilla a un entorno urbano o rural, independiente de la geografía y que permita sacar conclusiones válidas sobre la predicción de señal sobre la zona a cubrir.

Con el surgimiento de las redes inalámbricas el problema de planificación de la red de radio ha tenido numerosas formas de resolución. En [7] se realiza una revisión general de diferentes metaheurísticas resolviendo el problema de RND y utilizan la función objetivo propuesta por Calegari et al. en [2, 3]. El estudio pretende ofrecer una base de referencia confiable sobre un amplio espectro de algoritmos y medidas precisas de comparación de la eficiencia, confiabilidad y rapidez de las diferentes técnicas aplicadas a la resolución del RND. Se dan referencias de uso de AGs con implementaciones híbridas en [18], paralelas o multiobjetivo en [5, 6, 8, y 22]. Un ejemplo de esto se puede ver en [1] donde se modela el problema en su máxima complejidad práctica, basado una optimización combinatoria con restricciones multiobjetivo con un enfoque Pareto para encontrar el conjunto de redes no dominantes y diversificadas. En [20] se plantea el uso de una heurística para resolver el problema de RND, formada por tres fases

secuenciales. La primera fase ejecuta el preprocesamiento de las restricciones del problema, eliminando de esta forma un gran número de “malas” combinaciones. La segunda ejecuta una optimización utilizando Búsqueda Tabú (*Taboo Search*, TS) sobre un espacio de búsqueda reducido. La tercera es una post optimización ejecutando la sintonía fina de los parámetros de las antenas. Uno de los primeros enfoques de un algoritmo genético (AG) no estándar es el denominado CHC. El CHC es un AG no tradicional que utiliza una estrategia de selección muy conservadora: elige siempre a los mejores individuos para formar parte de la nueva población. Aplica además un operador de recombinación (HUX, del inglés Half Uniform Crossover), que produce una descendencia lo más diferente posible a ambos padres; el CHC incorpora un mecanismo para reiniciar el algoritmo ante una condición de convergencia prematura. También introduce un sesgo para evitar el cruce de individuos similares.

El algoritmo CHC también se aplicó al problema de diseño de la red de radio y obtuvieron buenos resultados en [21] y además se destaca el poco uso de este algoritmo. En [17] se presenta una versión de CHC multiobjetivo que en lugar de ordenar las soluciones en base a un valor escalar (el *fitness*), el CHC multiobjetivo (Mo-CHC) las soluciones se ordenan mediante un método de ranking y *crowding*.

## Líneas de investigación y desarrollo

La popularización de los servicios inalámbricos de comunicación (telefonía, internet, etc.) es cada vez mayor en la actualidad. La demanda hace que los usuarios exijan la disponibilidad de estos servicios en todo momento y en cualquier lugar. El costo de los equipamientos para brindar

el servicio con la calidad adecuada es elevado por lo tanto es fundamental realizar la correcta selección de los emplazamientos geográficos que permitan lograr una cobertura óptima de señal minimizando el uso de equipamientos.

Esta tarea se la denomina diseño de la red de radio (RND) y es un problema NP-duro de optimización, por lo tanto, es factible de ser tratado con metaheurísticas. Dados los buenos resultados obtenidos por el algoritmo CHC aplicado a este problema, en el presente trabajo se continuó la investigación generando seis versiones del algoritmo denominadas: QCHC-RE, QCHC-TE, QCHC-ML, QCHCMD, QCHC-MCB y QCHC-ILS. Las tres primeras versiones se basaron en el uso de diferentes métodos de selección poblacional y el resto de las versiones en variaciones del método de sacudida.

Además, propone aportes relacionados con comunicaciones, metaheurísticas, modelado de terreno para ser representado computacionalmente y se muestran los resultados obtenidos por cada uno de los algoritmos junto con el análisis estadístico de los mismos.

## Resultados obtenidos/esperados

En cuanto a los resultados de ésta línea de investigación y desarrollo se obtuvieron hasta el momento los siguientes objetivos:

- Construcción de instancias de prueba artificiales para el problema de RND.
- Optimización de la función de evaluación basada en la eficiencia de cobertura
- Desarrollo de nuevas variantes del algoritmo CHC con respecto a los

mecanismos de selección y de sacudida.

- Construcción y prueba de instancias reales en los yacimientos de zona norte de Santa Cruz incluyendo restricciones topográficas del terreno.

Estos avances del proyecto son detallados en Molina et al [9, 10, 11, 12, 13, 14, y 15, y 16].

En trabajos futuros también se podrá abordar escenarios con un modelo de cobertura más específico, diferentes formas del lóbulo de radiación paralelización de los algoritmos secuenciales desarrollados.

## Formación de recursos humanos

Un integrante del proyecto está desarrollando su tesis de Doctorado orientada a esta línea de investigación.

Un integrante del proyecto presentó y defendió su tesis de Maestría.

## Referencias

[1] E. Alba and F. Chicano, On the behavior of parallel genetic algorithms for optimal placement of antennae in telecommunications, *Int. J. Found. Comput. Sci.*, vol. 16, pp. 86–90, 2005.

[2] P. Calegari, F. Guidec, P. Kuonen, and D. Wagner. Genetic Approach to Radio Network Optimizations for Mobile Systems. In *Proceedings 47th IEEE Conference on Vehicular Technology*, volume 2, pages 755-759, 1997. (a)

[3] P. Calegari, F. Guidec, P. Kuonen, and D. Kobler, *Parallel Island Based Genetic Algorithm for Radio Network Design*, J.

[4] *Parallel Distrib. Comput.*, vol. 47, no. 1, pp. 86–90, 1997.(b)

[5] G. Celli, E. Costamagna, and A. Fanni, *Genetic Algorithms for Telecommunication Network Optimization*, presented at *IEEE Int. Conf. Syst., Man and Cybernetics*, 1995.

[6] C. M. Fonseca and P. J. Fleming, *Genetic Algorithms for Multiobjective Optimization: Formulation, Discussion and Generalization*, in *Proc. 5th Int. Conf. Genetic Algorithms*, 1993, pp. 416–423.

[7] S. Mendes, G. Molina, M. Vega-Rodríguez, J. Gómez-Pulido, Y. Sáez, G. Miranda, C. Segura, E. Alba, P. Isasi, C. León, and J. Sánchez-Pérez, *Benchmarking a Wide Spectrum of Metaheuristic Techniques for the Radio Network Design Problem*. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 13, no. 5, October 2009.

[8] H. Meunier, E. G. Talbi, and P. Reininger, *A Multiobjective Genetic Algorithm for Radio Network Optimization*, presented at *Congr. Evol. Comput.*, 2000.

[9] D. Molina, D. Pandolfi, y A. Villagra. Aplicación y evaluación de diferentes algoritmos genéticos canónicos en el diseño eficiente de redes de radio frecuencia en comunicaciones inalámbricas. *Revista de Informes Científicos y Técnicos de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral*. Vol.5, núm. 3 (2013). pag 135-161.

[10] D. Molina, D. Pandolfi, y A. Villagra. Diseño de coberturas de señales de radio frecuencia aplicando metaheurísticas. *III Encuentro de Investigadores de la Patagonia Austral*. ISBN 978-987-3714-00-9. 3era Edición.

- [11] D. Molina, D. Pandolfi, A. Villagra, y G. Leguizamón. Diseño eficiente de redes de radio frecuencia con algoritmos CHC en comunicaciones inalámbricas. Actas del 2 Congreso Nacional de Ingeniería Informática/Sistemas de Información, CoNaIISI (2014), pag. 125-133. ISSN: 2346-9927
- [12] D. Molina, D. Pandolfi, A. Villagra, y G. Leguizamón. Metaheurísticas aplicadas a la optimización de cobertura de señales de radio frecuencia con un modelo de propagación adaptable. XVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2014), p. 109-114, Ushuaia, Argentina.
- [13] D. Molina, D. Pandolfi, A. Villagra, y G. Leguizamón. Applying CHC Algorithms on Radio Network Design for Wireless Communication. Computer Science & Technology Series, XX Argentine Congress of Computer Science, Selected papers (2015), pag 27-37. ISBN 978-987-1985-71-5.
- [14] D. Molina, D. Pandolfi, A. Villagra, y G. Leguizamón. Variantes del algoritmo CHC para proyectar redes de radio frecuencia en comunicaciones inalámbricas. Revista de Informes Científicos y Técnicos de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral. Vol.7, núm. 2 (2015). pag 228-248.
- [15] D. Molina, D. Pandolfi, A. Villagra, y G. Leguizamón. Hibridación del Algoritmo CHC aplicado al Cálculo de Coberturas en Redes Inalámbricas en Yacimientos Petroleros. 12 Congreso Interamericano de Computación Aplicado a la Industria de Procesos CAIP 2015. ISBN 978-958-8791-81-4.
- [16] D. Molina, D. Pandolfi, A. Villagra, y G. Leguizamón. Metaheurísticas aplicadas a la optimización de cobertura de señales de radio frecuencia para telemetrías en yacimientos petroleros. XVII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2015), Salta, Argentina.
- [17] A. J. Nebro, G. Alba, Enrique y Molina, F. Chicano, and J. J. Luna, Francisco y Durillo. Optimal antenna placement using a new multi-objective chc algorithm. In Proceedings of the 9th annual conference on Genetic and evolutionary computation, pages 876–883. ACM, 2007.
- [18] A.R. Penin. Sistemas SCADA. Marcombo, (2012).
- [19] E. G. Talbi, S. Cahon, and N. Melab, “Designing cellular networks using a parallel hybrid metaheuristic on the computational grid,” *Comput. Commun.*, vol. 30, no. 4, pp. 698–713, 2007.
- [20] K. Tutschku, N. Gerlich, and P. Tranga An integrated Approach to Cellular Network Planning, Institute of Computer Science, University of Wurzburg, 1995.
- [21] M. Vega-Rodríguez, J. Gómez-Pulido, E. Alba, D. Vega-Pérez, S. Priem-Mendes, G. Molina, Evaluation of Different Metaheuristics Solving the RND Problem, *EvoWorkshops 2007, LNCS 4448*, pp. 101–110, 2007.
- [21] S. Watanabe, T. Hiroyasu, and M. Mikiand, Parallel Evolutionary Multicriterion Optimization for Mobile Telecommunication Networks Optimization, presented at Eurogen 2001—Evol. Methods Design, Optimisation Control with Applicat. Ind. Problems Conf., Athens, Greece, 2001.