

# Metaheurísticas aplicadas a la optimización de cobertura de señales de radio frecuencia para telemetrías en yacimientos petroleros

**Daniel Molina, Daniel Pandolfi, Andrea Villagra**  
LabTEm - Unidad Académica Caleta Olivia  
Universidad Nacional de la Patagonia Austral  
{dmolina, dpandolfi, avillagra}@uaco.unpa.edu.ar

**Guillermo Leguizamón**

LIDIC - Departamento de Informática - Universidad Nacional de San Luis  
legui@unsl.edu.ar

## Resumen

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: sigla en inglés para Supervisory Control And Data Acquisition) permiten la gestión y control de cualquier sistema local o remoto gracias a una interfaz gráfica que comunica al usuario con el sistema (HMI: sigla en inglés para Human Machine Interface). Esto hace que el uso de sistemas SCADA, con pantallas HMI, ubicadas en puntos estratégicos, sean de vital importancia para una compañía petrolera. Para que el SCADA funcione, se debe alimentar el sistema con señales de sensores ubicados a kilómetros de distancia. Además, con este control se supervisa de forma automática los posibles puntos de falla que pueden provocar derrames que impliquen

pérdidas e impactos ambientales. 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. El objetivo de esta línea de investigación es realizar el análisis, estudio e implementación de diferentes metaheurísticas utilizando un modelo de propagación de radio frecuencia real para la distribución de servicios inalámbricos en yacimientos petroleros

**Palabras clave:** servicios inalámbricos, red de radio, frecuencia, metaheurísticas.

## Contexto

La línea de investigación descrita en este trabajo se enmarca en el Proyecto de Investigación 29/B136-1- “Metaheurísticas paralelas aplicadas al problema de explotación eficiente de energía eólica” llevado 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.

## Introducción

Un medio de comunicación inalámbrico se compone básicamente de un emisor y un receptor, y el vínculo entre ambos puntos se realiza utilizando radio frecuencia basada en ondas hertzianas y el medio que transporta estas ondas es el aire. Para que este fenómeno pueda ser posible el emisor genera una señal que debe llegar al receptor con un nivel adecuado para que este pueda recibir correctamente el mensaje. 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 en el nivel de la señal emitida haciendo que muchas veces el receptor no sea capaz de decodificar el mensaje. Según [1] el problema del posicionamiento de antenas puede ser descrito de manera informal como: dado un conjunto de sitios candidatos, con distintos tipos de antenas y un área geográfica discretizada (con información relativa a la estimación de tráfico y un umbral de nivel de recepción de señal) seleccionar un subconjunto de sitios del conjunto de sitios candidatos y para cada sitio el número, el tipo de antena y sus parámetros (valores de configuración).

Además, en problema de diseño de la red de radio surgen dos aspectos:

**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.

**Radio eléctrico:** abarca todo lo vinculado a la propagación de la onda electromagnética como son los fenómenos de difracción, refracción, absorción, etc.

Para el caso de su aplicación en un yacimiento petrolero estos dos aspectos son determinantes para el éxito de los sistemas SCADA [2] aplicados al proceso de producción de petróleo. Los oleoductos atraviesan kilómetros de distancia por diferentes demografías y los dispositivos de extracción se encuentran diseminados sobre grandes extensiones de terreno. En general, se necesita una solución que permita modelar servicios basados en señales de radio frecuencia sobre una determinada área de cobertura. A su vez, brindar una aproximación de la situación con un determinado grado de veracidad sin importar el tipo de geografía. Para ello se necesitaría contar con:

- **Una herramienta de optimización:** Ésta debe ser independiente, adaptable, no guiada y que pueda ser evaluada cuantitativamente para validar los resultados obtenidos. Las metaheurísticas [3], son métodos que integran procedimientos de mejora local y estrategias de alto nivel para realizar una búsqueda robusta en el espacio del problema. El problema de selección de sitios para diagramas de cobertura es un problema de tipo NP-duro, por lo que es apto para ser tratado con metaheurísticas.
- **Un modelo de propagación:** Los obstáculos y superficies reflectantes que se encuentran en las proximidades de una antena tienen una influencia sustancial en la propagación de las ondas electromagnéticas. Además, las características de propagación varían de un lugar a otro. El modelo requerido para la herramienta debe ser adaptable de manera sencilla a un entorno urbano o rural, indepen-

diente de la geografía y que permita sacar conclusiones válidas sobre la predicción de señal sobre la zona a cubrir [4].

El modelo de diseño de redes de radio propuesto por [5] plantea una arquitectura de diseño en capas y fue pensado para redes de celulares [6]. En cada una de las etapas se pueden aplicar metaheurísticas [7], [8], [9] que permitan generar datos para la capa superior [10]. Para este caso en particular, se propone trabajar en la capa diseño de la red de radio. Se aplicará el modelo explicado en [4] para el cálculo de cobertura de la señal

## **Líneas de Investigación, Desarrollo e Innovación**

En esta sección se describe la línea de investigación y desarrollo que se encuentra activa.

En [11] se realiza una revisión general de diferentes metaheurísticas resolviendo el problema de RND (Radio Network Design). El estudio ofrece 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. Este estudio establece que el algoritmo CHC (*Crossover elitism population, Half uniform crossover combination, Cataclysm mutation*) es un algoritmo que obtuvo buenos resultados.

Se remarca el hecho que el algoritmo CHC es poco utilizado en esta problemática y los resultados de su aplicación han demostrado ser de mejor calidad con respecto a otras metaheurísticas. Tomando esta premisa se avanzará sobre la investigación, desarrollo y aplicación del algoritmo de diferentes versiones de CHC,

denominadas QCHC. Las mismas se diferencian de la versión tradicional por el mecanismo de selección poblacional [12], la forma de realizar un proceso denominado cataclismo para salir del estancamiento [13] y el uso de la diversidad genética como parámetros de convergencia.

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). La cartografía está basada en los archivos generados por la misión topográfica SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) cuyos archivos están disponibles en Internet. La ingeniería en comunicaciones utiliza modelos matemáticos para validar la calidad de un radio enlace entre dos puntos. Para generar predicciones confiables se necesita un modelo que permita establecer la veracidad de sus predicciones a través de valores estadísticos y que esté debidamente probado en su uso. El modelo de Longley – Rice, o *Irregular Terrain Model* (ITM) fue desarrollado en los años 60 y brinda lo que se denomina atenuación de referencia. Este valor indica cual es la pérdida en espacio libre asociada a la zona donde se lo aplica. El modelo tiene como datos de entrada los parámetros de sistema (frecuencia, distancia, la altura de las antenas y su polarización, vertical / horizontal) parámetros del entorno (coeficiente de irregularidad del terreno, refractividad del terreno, clima, etc.) y parámetros estadísticos para establecer un nivel de confianza sobre los datos obtenidos [14].

## **Resultados y Objetivos**

En [12] y [13] se han desarrollado experimentos de los algoritmos QCHC comparándolos con AGs (Algoritmos Genéticos) utilizando operadores de un punto, dos puntos y cruzamiento uniforme para resolver el problema de RND [15]. La función objetivo utilizada en estos trabajos relaciona la maximización de la cobertura alcanzada por un conjunto de sitios y la minimización de uso de recursos en una sola expresión. La variante aportada es el uso de una función objetivo basada en la proporcionalidad de la cobertura de la superficie. Además, esta función objetivo minimiza las interferencias por superposición de lóbulos de radiación y el uso de radio bases como recursos de elevado costo. El CHC es un AG no tradicional [16] que combina una estrategia de selección conservativa que siempre preserva los mejores individuos encontrados y para salir de un estancamiento u óptimo local, se produce un reinicio de la población mediante un cataclismo. El operador de recombinación produce descendientes que maximizan sus diferencias genéticas con respecto a sus padres. La reproducción solo se lleva a cabo si la distancia de Hamming (diferencia genética entre los padres) es mayor al umbral establecido. El operador de cruzamiento HUX (*half uniform crossover*) es usado para maximizar la distancia genética entre individuos. La nueva población se genera con una selección de los mejores individuos, cuando converge la población se produce un reinicio de la misma conservando los mejores individuos.

Se propone analizar, evaluar y contrastar los resultados obtenidos con el algoritmo QCHC aplicados a un área geográfica perteneciente a un yacimiento petrolero. Los resultados obtenidos serán validados a través de estudios experimentales y analizados bajo la teoría estadística apropiada. Actualmente se encuentran en desarrollo los aspectos dinámicos

de QCHC que le permitirán moverse a través del espacio de búsqueda conforme a los valores obtenidos en cada iteración. A continuación se enumeran los resultados esperados del proyecto:

- Estudio comparativo de los algoritmos propuestos contra técnicas tradicionales sobre el problema seleccionado.
- Aplicación de los algoritmos propuestos al problema de RND en un yacimiento petrolero
- Análisis de los algoritmos propuestos con el objetivo de estudiar formalmente las complejidades computacionales involucradas en cada uno de ellos.
- Dejar precedentes sobre el uso de metaheurísticas para resolver problemas de coberturas en una zona geográfica de la república Argentina

## Formación de Recursos Humanos

En cuanto a la formación de recursos humanos cabe mencionar que en el marco de las actividades desarrolladas en esta línea un becario ha comenzado a desarrollar su Tesis de Posgrado. En tanto que, en el LabTEM se trabaja con alumnos avanzados en la carrera Ingeniería en Sistemas en temas relacionados a esta línea de investigación, con el objeto de guiarlos en el desarrollo de sus trabajos de fin de carrera y también, de formar futuros investigadores.

## Referencias

- [1] W. Corne, M. Oates, G. Smith  
Telecommunications Optimization:  
Heuristic and Adaptive Techniques. John  
Wiley & Sons Ltd, 2000.

- [2] A.R. Penin. *Sistemas SCADA*. Marcombo, 2012.
- [3] E. Talbi, *Metaheuristics From Design To Implementation*, John Wiley & Sons, Inc., July 2009.
- [4] G.A. Hufford, A.G. Longley, W.A. Kissick, *A Guide to the Use of the ITS Irregular Terrain Model in the Area Prediction Model*, Ntia Report 82-100, 1982
- [5] K. Tutschku, N. Gerlich, and P. Tran-Gia *An integrated Approach to Cellular Network Planning*, Institute of Computer Science, University of Wurzburg, 1995
- [6] Th. Fritsch, K. Tutschku, K Leibnitz, *Field Strength Prediction by Ray Tracing for Adaptive Base Station Positioning in Mobile Communication Networks*, August 1995.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] H.R. Anderson and J.P. McGeehan. *Optimizing Microcell Base Station Locations Using Simulated Annealing Techniques*. In *Proceedings 44th IEEE Conference on Vehicular Technology*, pages 858-862, 1994.
- [10] N. Erradi, F. Alami, N. Aknin, A. El Moussaoui, *Genetic algorithms to optimize base station sitting in WCDMA networks (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 4, No. 3, 2013
- [11] 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
- [12] D. Molina, D Pandolfi, A Villagra, G. Leguizamón, *Diseño eficiente de redes de radio frecuencia con algoritmos CHC en comunicaciones inalámbricas*, CoNa IISI 2014.
- [13] D. Molina, D Pandolfi, A Villagra, G. Leguizamón, *Applying CHC Algorithms on Radio Network Design for Wireless Communication CACIC 2014*. ISBN 978-987-3806-05-6.
- [14] T. Rappaport, *Wireless communications principles and practice*. 1ra ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996.
- [15] D. Molina, D. Pandolfi, A. Villagra, *Aplicación y evaluación de diferentes algoritmos genéticos canónicos en el diseño eficiente de redes de radio frecuencia en comunicaciones inalámbricas*. ICT-UNPA-77-2013 Resolución Nro. 1121/13-R-UNPA.
- [16] L.J. Eshelman. *The CHC Adaptive Search Algorithm: How to Have Safe Search When Engaging in Nontraditional Genetic Recombination*. In *Foundations of Genetic Algorithms*, pages 265–283. Morgan Kaufmann, 1991.