

# Metaheurísticas aplicadas a la optimización de cobertura de señales de radio frecuencia con un modelo de propagación adaptable

**Molina D., Pandolfi D., Villagra A.**

LabTEm - Unidad Académica Caleta Olivia  
Universidad Nacional de la Patagonia Austral  
{dmolina, dpandolfi, 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

Desde el surgimiento de las comunicaciones inalámbricas la selección de un conjunto de puntos geográficos que permitan una cobertura óptima de una señal ha sido una tarea crítica. El costo de los equipamientos para brindar el servicio con la calidad adecuada es elevado, por lo tanto minimizar su cantidad es fundamental. A este problema se lo denomina diseño de la red de radio (RND) [1]. Los métodos analíticos fueron las primeras herramientas para resolver este problema, donde se intenta predecir el valor de nivel de señal en diferentes escenarios de terreno. El RND es un problema NP – duro de optimización, por lo tanto, es factible de ser tratado con metaheurísticas. 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 en la resolución del problema de localización de antenas para la distribución de servicios inalámbricos.

**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

Los medios inalámbricos de comunicación quizás sean los mayores generadores del crecimiento de las comunicaciones de hoy en día. Los utilizan la radio, la televisión, los dispositivos inteligentes de telefonía (*smartphones*) y los computadores móviles (*netbook, notebook, tablets*, etc.).

Tienen la capacidad de vencer la limitación física de un medio dirigido o basado en cable permitiendo al usuario poder desplazarse hacia cualquier lugar donde tenga un nivel de señal aceptable.

Básicamente un medio de comunicación inalámbrico se compone 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 entender 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.

Por lo tanto lograr el posicionamiento de las antenas de manera tal que la mayoría de los receptores pueda tener una línea de vista sin obstáculos, asegurando un nivel de señal la mayor parte del tiempo es un gran desafío.

Es importante destacar que a nivel de enlace de radio frecuencia en comunicaciones inalámbricas, la problemática que presenta una señal en el espacio libre es independiente de la tecnología o el servicio que se desee brindar (radio, televisión, telefonía

celular, internet, etc.). Según [13] el problema del posicionamiento de antenas puede ser descripto 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 sub conjunto de sitios del conjunto de sitios candidatos y para cada sitio el número, el tipo de antena y sus parámetros (valores de configuración).

El nivel de tráfico que pueda cursar la comunicación está relacionado directamente con el nivel de señal recibido. Cuanto mayor es su calidad, será mayor el ancho de banda disponible, independientemente de la capacidad del equipamiento utilizado. Desde esta perspectiva podemos inferir que el problema de diseño de la red de radio surge de la combinación de 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. Este enfoque reduce el problema a un nivel solamente de radio frecuencia sin involucrar una población cuya distribución dentro de una geografía determinada puede variar dinámicamente por la propia naturaleza móvil de los clientes que hacen uso del servicio.

En general se necesita una solución que permita modelar una amplia gama de servicios basados en señales de radio frecuencia sobre una determinada área de cobertura sin importar el tipo de geografía y que brinde una aproximación

de la situación con un determinado grado de veracidad. Para ellos se necesitaría contar con:

- **Una herramienta de optimización:** Esta debe ser independiente, adaptable, no guiada que pueda ser evaluada cuantitativamente para validar los resultados obtenidos. Las metaheurísticas [6], 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 [13], [15].
- **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. Existen varios modelos de propagación (Hokumura-Hata, Walfish-Ikegami, etc.) que se pueden utilizar para calcular la cobertura de la señal en una zona geográfica [10]. El modelo requerido para la herramienta debe ser adaptable de manera sencilla a un entorno urbano o rural, que pueda modelar una amplia gama de señales de radio frecuencia, lo que lo independiza del tipo de servicio, la geografía y que permita sacar conclusiones válidas sobre la predicción de señal sobre la zona a cubrir [11].

El modelo de diseño de redes de radio propuesto por [1] plantea una arquitectura de diseño en capas y fue pensado para

redes de celulares [2]. En cada una de las etapas se pueden aplicar metaheurísticas [4], [5], [8] que permitan generar datos para la capa superior [9]. Para este caso en particular, se propone trabajar en la capa diseño de la red de radio. Se aplicará el modelo explicado en [11] para el cálculo de cobertura de la señal. Esto permite incluir un gran espectro de bandas de radio frecuencia, (de 20 Mhz a 20 Ghz) y distancias (de 1 km a 2000 km) [11]. De esta manera se cubren diferentes servicios con diferentes escenarios. Las metaheurísticas serán las responsables de la búsqueda del mejor diagrama de cobertura de la red de radio.

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

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

En [7] se remarca el hecho que el algoritmo CHC (*Crossover elitism population, Half uniform crossover combination, Cataclysm mutation*) 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 CHC y sus variantes dinámicas para el diseño de la red de radio. Es fundamental el modelado del área que se desea cubrir, por lo que 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. La computación geográfica es un área dedicada a resolver esta problemática. Se desarrollará una investigación sobre técnicas para la representación del

terreno sobre el cual se realizará la distribución de las radio bases (antenas) y que sea utilizado como referencia de la calidad de cobertura total lograda por la metaheurística. La ingeniería en comunicaciones utiliza modelos matemáticos para validar la calidad de un radio enlace entre dos puntos [3]. Es por ello que se llevará a cabo la investigación sobre modelos matemáticos de radio frecuencia que permitan brindar un parámetro cuantitativo de la calidad del enlace independientemente del servicio de comunicación y la geografía presentada [12].

### Resultados y Objetivos

En [17] se han desarrollado experimentos con AG's (Algoritmos Genéticos) utilizando operadores de un punto, dos puntos y cruzamiento uniforme para resolver el problema de RND. La función objetivo utilizada en este trabajo 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. La función objetivo utilizada para resolver este problema es la propuesta por [16] y se utiliza como referencia en [7] y [15].

Se propone analizar, evaluar y contrastar los resultados obtenidos en [17] con el algoritmo CHC. El CHC es un AG no tradicional que combina una estrategia de selección conservativa que siempre preserva los mejores individuos encontrados [14]. 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 una función objetivo que combina el grado de cobertura del terreno y el uso eficiente de recursos en diferentes escenarios. Además se pretende realizar de la investigación, desarrollo y aplicación del algoritmo CHC con variantes dinámicas para el diseño de la red de radio. 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 CHC utilizando la diversidad genética como parámetros de convergencia y variantes en la generación de la nueva población para salir del estancamiento. 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
- Análisis de los algoritmos propuestos con el objetivo de estudiar formalmente las complejidades computacionales involucradas en cada uno de ellos.

## 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] K. Tutschku, N. Gerlich, and P. Tran-Gia An integrated Approach to Cellular Network Planning, Institute of Computer Science, University of Wurzburg, 1995
- [2] Th. Fritsch, K. Tutschku, K Leibnitz, Field Strength Prediction by Ray Tracing for Adaptive Base Station Positioning in Mobile Communication Networks, August 1995.
- [3] J. Treviño Cortés, Propagación en RF n bandas: LF, MF, HF, VHF, UHF y VHF, Cap5. Modelos de Propagación. Diciembre 2003
- [4] A. Gamst, E.-G. Zinn, R. Beck, and R. Simon, Cellular Radio Network Planning. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, (1):8, 11, 1986.
- [5] 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.
- [6] E. Talbi, Metaheuristics From Design To Implementation, John Wiley & Sons, Inc., July 2009.
- [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] 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] 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
- [10] J. Parsons, The Mobile Radio Propagation Chanel, Second Edition, 2000.
- [11] 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
- [12] Rappaport, T. Wireless communications principles and practice. 1ra ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996.
- [13] W. Corne, M. Oates, G. Smith Telecommunications Optimization: Heuristic and Adaptive Techniques. John Wiley & Sons Ltd, 2000.
- [14] 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.
- [15] 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.

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

[17] 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.