

# Algoritmos Evolutivos híbridos para el diseño y operación eficiente de una red de distribución de agua potable

Villagra A., Pereyra G., Molina D., Seron N., Goupillat C., Varas V., Montenegro C., Lasso M., Pandolfi D.

Laboratorio de Tecnologías Emergentes (LabTEM)

Instituto de Tecnología Aplicada - Unidad Académica Caleta Olivia

Universidad Nacional de la Patagonia Austral

{avillagra, gpereyra, dmolina, nseron}@uaco.unpa.edu.ar, goupinge@yahoo.com.ar,

{vvaras, cmontenegro, mlasso, 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

Los Algoritmos Evolutivos (AEs) han sido ampliamente utilizados de forma exitosa en las últimas dos décadas para resolver diferentes problemas de redes de distribución de agua. El problema de diseño de una red de distribución de agua (RDA) ha sido reconocido como un problema NP-duro que no puede ser resuelto fácilmente usando técnicas matemáticas tradicionales. En esta línea de trabajo se utilizan dos algoritmos Evolutivos (Algoritmo Genético Celular – cGA- y Algoritmo CHC - *Crossover elitism population, Half uniform crossover combination, Cataclysm mutation*) no tan utilizados en la literatura para resolver este problema pero que han tenido resultados exitosos en distintos problemas de optimización. Además, se pretende incorporar versiones híbridas de ambos algoritmos actualmente utilizadas en diversos problemas de optimización en el marco otros proyectos de investigación llevados a cabo en el Laboratorio de Tecnologías Emergentes. Con estos algoritmos se intenta brindar soluciones al diseño

de una red eficiente de distribución de agua potable para la localidad de Caleta Olivia.

**Palabras clave:** Algoritmos Evolutivos, Red de agua potable, Optimización, cGA, 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 PDTS-UNPA, proyecto denominado: “Metaheurísticas aplicadas al diseño y operación óptima de una red urbana de distribución de agua potable”.

## Introducción

Actualmente, las redes de distribución de agua juegan un papel vital e importante en

la vida de la sociedad. Estas redes se componen de tuberías, tanques, bombas, depósitos, válvulas y algunos otros componentes. Se pueden considerar diferentes configuraciones de estos componentes en relación con algunas restricciones para proporcionar agua a los consumidores. El objetivo de un diseñador es minimizar el costo de la red y puede considerarse como un problema de optimización con diferentes aspectos tales como el costo de mantenimiento, diseño de la disposición, la fiabilidad, la selección del material, requerimientos de la demanda, entre otros.

Las técnicas de optimización tradicionales como la programación lineal [3, 6, 15], la programación dinámica [17] y la programación no lineal [8] han sido empleadas principalmente para resolver la minimización de costo del problema de diseño de la RDA. Sin embargo, estos modelos sólo se han aplicado a tamaño de problemas pequeños (simplificaciones) y suposiciones debido a la complicada naturaleza del problema. De hecho, el diseño de la RDA está clasificado como un problema NP-duro [22].

Los AEs se han aplicado a una pléthora de problemas a través de una amplia variedad de disciplinas. Su relativa simplicidad y su capacidad de trabajar eficientemente en nuevos problemas han hecho que sean adoptados en campos tan diversos como la ingeniería, la economía y la robótica. Como es de esperar, los AEs también se han aplicado a problemas de redes de distribución de agua con un alto grado de éxito, por ejemplo, en el campo de la recuperación de aguas subterráneas [14], el control de la morfología del lecho fluvial [13], la determinación de las características hidráulicas de producción pozos [10] y en particular en el campo de la optimización de la distribución de agua de la red [4, 16]. También diferentes metaheurísticas

se han aplicado al problema de RDA como por ejemplo, Algoritmos genéticos en [9, 11], Recocido Simulado [5, 19], Optimización basado en cúmulo de partículas [1] y Optimización basada en sistemas de hormigas [23]. Si bien existe una importante cantidad de publicaciones, el problema de diseño y operación eficiente de una RDA es un problema de frontera abierta es decir, que está abierto a encontrar mejores soluciones. Por esta razón, planteamos la utilización de dos potentes algoritmos cGA y CHC.

El cGA es un algoritmo basado en población descentralizada en el que las soluciones tentativas evolucionan en los vecindarios solapados [2, 18]. El algoritmo CHC [7, 20] es un Algoritmo Genético (AG) no tradicional que combina una estrategia de selección conservativa que siempre preserva los mejores individuos encontrados. Hemos obtenido resultados promisorios con ambos algoritmos y sus versiones híbridas aplicados a problemas de optimización [12, 21]. En esta línea de trabajo los utilizaremos para abordar diferentes problemas de la red de distribución de agua, tomando además como caso de estudio la red actual de la ciudad de Caleta Olivia, provincia de Santa Cruz, Argentina.

## **Líneas de investigación y desarrollo**

Una red de distribución de agua es el conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde embalses o cisternas de servicio hasta las tomas domiciliarias o hidrantes públicos. Su finalidad es proporcionar agua a los usuarios para consumo doméstico, público, comercial, industrial y para condiciones extraordinarias como extinguir incendios. La red debe proporcionar este servicio todo el

tiempo, en cantidad suficiente, con la calidad requerida y a una presión adecuada. Las conexiones entre todos los componentes de la red de distribución pueden variar, esto hace que la red sea compleja, en cuanto a su comportamiento y diseño. Siendo la distribución de agua un factor crítico, uno de los principales desafíos es encontrar la red que cumpla con determinadas restricciones de presión y caudal a un costo razonable. La optimización de una red de distribución está determinada por tres fases diferentes: (1) Topológica, el nivel de decisión es estratégico e involucra algunas variables de decisión como conexiones, válvulas y bombas. (2) Diseño de la red, cuyo nivel de decisión es táctico e involucra como variables de decisión los diámetros de las tuberías y la rugosidad. (3) Planificación que involucra el nivel de decisión operacional tomando como variables de decisión el control de válvulas y bombas.

Atendiendo a estas fases ésta línea de investigación como objetivos generales pretende a nivel estratégico ayudar a evaluar la topología de la red actual; a nivel táctico determinar el impacto del diámetro y rugosidad de las tuberías en cuanto al diseño. Además, colaborar en la planificación de las prioridades de distribución, la planificación y control de las válvulas.

## **Resultados obtenidos/esperados**

En cuanto a los resultados de ésta línea de investigación y desarrollo se espera lograr:

- Reconstruir la topología de la red troncal de abastecimiento de agua de la ciudad de Caleta Olivia.
- Caracterizar las restricciones de abastecimiento de agua a la red.

- Caracterizar la demanda de agua en cada válvula de provisión de la red troncal.
- Determinar las presiones en los distintos puntos de la red troncal de distribución.
- Proponer el diseño óptimo de la red troncal a través de los algoritmos cGA, CHC y sus versiones híbridas.
- Simular la red de distribución propuesta para Caleta Olivia.
- Comparar los resultados propuestos con aplicaciones de distribución libre (tal como EPANet<sup>1</sup>- programa que realiza simulaciones para la RDA).
- Simular la red actual con restricciones de reservorio con algoritmos CHC y cGA para programar la distribución óptima de agua.
- Analizar los resultados en conjunto con la empresa Servicios Públicos Sociedad del Estado (SPSE).

Con estos resultados se pretende a través del uso de Algoritmos Evolutivos desarrollar una herramienta capaz de generar soluciones a distintos escenarios de la planificación y operación de una red urbana de distribución de agua potable. Cabe resaltar que esta herramienta podrá ser en el futuro fácilmente adaptada para aplicarse en el diseño de otros tipos de redes tal como una red cloacal.

Actualmente, se está trabajando en la preparación de los datos de la red troncal de Caleta Olivia. Además, se está realizando el estudio de los algoritmos propuestos sintonizándolos a través de su aplicación a redes de distribución de agua utilizadas en la literatura (Red de Hanoi, Red de New York y Red de Alperovits y Shmir).

## **Formación de recursos humanos**

<sup>1</sup> <http://www.instagua.upv.es/Epanet/>

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

Se cuenta con un becario de grado realizando su trabajo de fin de carrera en este tema.

## Referencias

- [1] K. Aghdam, I. Mirzaee, N. Pourmahmood, M. Aghababa. Design of water distribution networks using accelerated momentum particle swarm optimisation technique. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, Vol. 26, No. 4, 459–475, 2014.
- [2] E. Alba and B. Dorronsoro. *Cellular Genetic Algorithms*. Springer, 2008.
- [3] E. Alperovits, U. Shamir, Design of optimal water distribution systems, *Water Resour. Res.* 13 (6) 885–900, 1977.
- [4] W. Bi, G. Dandy, H. Maier. Improved genetic algorithm optimization of water distribution system design by incorporating domain knowledge. *Environ. Modell. Softw* 69, 370-381, 2015 <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.09.010>
- [5] M. Cunha, J. Sousa. Water distribution network design optimization: simulated annealing approach. *J Water Resour Plan Manage*, 125(4):215–21, 1999.
- [6] G. Eiger, U. Shamir, A. Ben-Tal, Optimal design of water distribution networks, *Water Resour. Res.* 30 (9), 2637–2646, 1994.
- [7] L. 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.
- [8] O. Fujiwara, D. Khang, A two-phase decomposition method for optimal design of looped water distribution networks, *Water Resour. Res.* 26 (4), 539–549, 1990.
- [9] D. Goldberg, C. Kuo. Genetic algorithms in pipeline optimization. *J Comput Civil Eng*, 1(2):128–41, 1987.
- [10] M. Jha, G. Nanda, M. Samuel. Determining hydraulic characteristics of production wells using genetic algorithm. *Water Resour. Manag.* 18 (4), 353-377, 2004.
- [11] M. Kadu, R. Gupta, P. Bhawe. Optimal design of water networks using a modified genetic algorithm with reduction in search space. *J Water Resour Plan Manage*, 134(2):147–60, 2008.
- [12] 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, pag 27-37, 2015.
- [13] J. Nicklow, O. Ozkurt, Jr. Bringer. Control of channel bed morphology in large-scale river networks using a genetic algorithm. *Water Resour. Manag.* 17 (2), 113-132, 2003.
- [14] Piscopo, J. Kasprzyk, R. Neupauer. An iterative approach to multiobjective engineering design: optimization of engineered injection and extraction for enhanced groundwater remediation. *Environ. Model. Softw*, 2014.
- [15] G. Quindry, E. Brill, J. Liebman, Optimization of looped water distribution

systems, *J. Environ. Eng.* 107 (4), 665–679, 1981.

[16] D. Savic, G. Walters. Genetic algorithms for least-cost design of water distribution networks. *J. Water Resour. Plann. Manag.* 123 (2), 67-77, 1997

[17] J.C. Schaake, D. Lai, Linear programming and dynamic programming applications to water distribution network design, Rep. No. 116, Hydrodynamics Laboratory, MIT, Cambridge, MA, 1969.

[18] M. Tomassimi. The parallel genetic cellular automata: Application to global function optimization. In: Albrecht R, Reeves C, Steele N (eds) *International Conference on Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms*, Springer-Verlag, Heidelberg, pp 385–391, 1993.

[19] J. Tospornsampan, I. Kita , M. Ishii, Y. Kitamura. Split-pipe design of wáter distribution network using simulated annealing. *Int J Comput Inform Syst Sci Eng*, 1(3):153–63, 2007.

[20] L. Vélez. Enfoques no estándar de algoritmos evolutivos en un dilema de optimización. *Mutis*, 2(2):126-138, 2012.

[21] A. Villagra, G. Leguizamón, and E. Alba. Active components of metaheuristic in cellular genetic algorithms. *Soft Computing*, pages 1-15, 2014.

[22] D. Yates, A. Templemen, T. Boffey, The computational complexity of the problem of determining least capital cost designs for water supply networks, *Eng. Optim*, 7 (2) 142–155, 1984.

[23] A. Zecchin, H. Maier, A. Simpson, M. Leonard, J. Nixon. Ant colony optimization applied to water distribution system

design: Comparative study of five algorithms. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 133 (1):87-92, 2007