

ALGORITMOS EVOLUTIVOS APLICADOS A LA OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO DE SISTEMAS DE BOMBEO DE AGUA POTABLE

Jimmy H. Gutierrez-Bahamondes¹; Daniel Mora-Melia², R. Silva² y V. S. Fuertes-Miquel³

¹Departamento de Ciencias de la Computación, Facultad de Ingeniería, Universidad de Talca, Chile.

²Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, Facultad de Ingeniería, Universidad de Talca, Chile.

³Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universitat Politècnica de Valencia, Valencia, España.

E-mail: jgutierrezb@utalca.cl (G-B.J); damora@utalca.cl (M-M.D); rosilva13@alumnos.utalca.cl (S. R); vfuentes@upv.es (F-M.V)

Introducción

A medida que la población mundial aumenta, el uso adecuado de los recursos hídricos se ha tornado esencial. Dentro de este contexto, la optimización de sistemas que permiten suministrar agua potable constituye un conjunto de problemas de alta relevancia que ha involucrado investigadores de diversos campos de estudio.

Las redes de agua potable son un conjunto de elementos que se unen para transportar agua desde alguna determinada fuente hasta los consumidores. En general estos sistemas están integrados por tuberías, válvulas, bombas, tanques, etc.

En este campo, es posible distinguir dos grandes etapas de estudio. La primera corresponde al diseño de las redes y la segunda se enfoca en optimizar sus condiciones de funcionamiento.

En concreto, la optimización del régimen de bombeo es un problema que busca encontrar la mejor combinación de bombas a utilizar en cada uno de los intervalos de tiempo establecidos en el horizonte de planificación estudiado (Makaremi, Haghghi, & Ghafouri, 2017). En general, el objetivo es minimizar los costos energéticos y/o de mantención maximizando la disponibilidad de agua a todos los sectores de la red. A su vez, el problema incorpora una serie de restricciones que deben ser cumplidas.

Este problema ha sido ampliamente estudiado, pero cuando es extrapolado a redes de tamaño real genera un escenario extremadamente complejo (Maier et al., 2014), hasta el punto de ser catalogado como uno de los desafíos actuales en el campo de estudio de la optimización de redes de agua potable.

Los algoritmos evolutivos (AE) son un conjunto de metodologías de optimización que poseen la capacidad de explorar el espacio de soluciones factibles en tiempos aceptables. En este sentido, pueden entregar un conjunto de buenas soluciones, aunque no son capaces de asegurar la obtención del óptimo global del sistema.

Estos algoritmos, en general, han demostrado tener un buen rendimiento en problemas de diseño y operación de redes de agua, pero apenas existen algunos patrones de comparación entre ellos que permitan elegir claramente una de estas técnicas sobre las demás, especialmente cuando se trata de optimizar distintos objetivos al mismo tiempo.

En este trabajo, la optimización del problema de bombeo es resuelto mediante una herramienta computacional propia (HawaNet) a la que se incorpora un módulo basado en algoritmos multi-objetivo. En primera instancia se resuelve un problema de benchmarking conocido en la literatura, para posteriormente, y una vez calibrado el algoritmo, proceder a la optimización de un sistema real.

Metodología

HawaNet es un software que utiliza algoritmos evolutivos para

resolver problemas de optimización en el diseño y operaciones de redes de distribución de agua potable. Este sistema se basa en la biblioteca de enlace dinámico epanet2.dll (Toolkit para programadores desarrollado por EPANET). Este trabajo presenta la incorporación de un nuevo módulo de optimización multi-objetivo al software desarrollado. En específico, el módulo incorporado que permite optimizar el régimen de bombeo de una red teniendo en cuenta los siguientes objetivos:

Costos Energéticos: Se refiere a los costos de la energía eléctrica que las bombas consumen durante su funcionamiento. El sistema implementado reconoce diferentes costos según la tarifa horaria establecida y las condiciones operacionales de cada bomba. Además, es posible establecer sanciones para consumos que sobrepasen un umbral previamente determinado.

Costos de Mantención: La mantención de las bombas puede incurrir en gastos que incluso pueden exceder los costos energéticos. Uno de los índices que permite estimar esta tarifa corresponde al número de veces que cada bomba cambia de estado (encendido a apagado o apagado a encendido) planteado en Lansley & Awumah, (1994). Es decir, los costos de mantención son minimizados en la medida que las bombas permanecen encendidas o apagadas por un mayor tiempo.

Diferencia de nivel en el los tanques: Uno de los resultados esperados de la optimización de estos sistemas pretende aumentar los niveles de satisfacción al cliente (que consume el agua potable suministrada). Es por ello que se busca mantener los mismos niveles de agua en los estanques cada vez que termine un periodo de estudio (usualmente 1 día). De esta forma, es posible asegurar un mínimo de disponibilidad frente a alguna emergencia como incendio u otros imprevistos que demande una gran cantidad de agua en poco tiempo.

Uno de los input más importantes de la herramienta corresponde al pronóstico de demanda de agua. Este debe ser establecido a priori y basado en fuentes confiables ya que los resultados de la programación obtenida dependerán en gran medida de esta suposición.

Otros inputs necesarios son las características de la red (archivo con extensión .inp) que contiene demandas de presión en cada nodo, dimensiones, etc. Además, para este problema particular es necesario incorporar un nuevo archivo que posea los costos energéticos de cada bomba, las penalizaciones por consumos extremos y los costos de mantención (basados en cambios de estado).

El sistema permite especificar los horizontes de planeación de la programación de bombeo, así como los tamaños de los intervalos de los tiempos analizados.

Una de las ventajas de esta nueva característica del software es que puede ser utilizado por usuarios que posean poca experiencia con algoritmos de optimización metaheurísticos, seleccionando únicamente los objetivos a optimizar según sus necesidades. Así mismo, este módulo puede ser enlazado con las funciones del software que comparan las diferentes configuraciones de parámetros para cada uno los algoritmos implementados. Entre todos los algoritmos que incorpora la herramienta, este trabajo únicamente va a trabajar con tres de ellos:

Genetic algorithm (GA) Basado en la teoría de evolución, se genera una población de soluciones (individuos) con diferentes características la cual evoluciona seleccionando a los individuos con mejores aptitudes (menor costo de implementación) hasta detenerse según algún criterio previamente.

Particle swarm optimization (PSO) Este algoritmo intenta optimizar un problema a partir de una población de soluciones candidatas, denotadas como "partículas", moviendo éstas por todo el espacio de búsqueda según reglas matemáticas que tienen en cuenta la posición y la velocidad de las partículas.

Shuffled frog-leaping algorithm (SFLA): Consiste en la imitación de una población de ranas que buscan alimento saltando entre piedras en su pantano. Cada salto provoca un cambio en la posición dentro del espacio de búsqueda. Los grupos de ranas evolucionan a medida que encuentran mejores soluciones.

Estas metodologías son genéricas y por lo tanto pueden ser utilizadas en todo tipo de problemas de optimización. En cada algoritmo es necesario realizar un trabajo previo de calibrado que asegure un buen desempeño, especialmente frente a instancias donde el óptimo global del sistema es desconocido.

Codificación de las soluciones y calibración de los algoritmos.

La resolución de cualquier problema de optimización basado en AE requiere la definición de una notación o codificación para las soluciones. Dentro de este contexto, se ha determinado que las soluciones sean representadas por una matriz de $N \times M$, donde N será el número de bombas y M corresponde con el número de periodos analizados. Por tanto, cada elemento de esta matriz determina el estado de una bomba i en un periodo de tiempo j .

A este respecto, cada algoritmo es capaz de generar un conjunto de soluciones llamadas "poblaciones", que evolucionan a medida que avanza el proceso de optimización. Finalmente, es imprescindible definir un criterio de parada o convergencia, obteniéndose una población final que contiene la mejor solución obtenida.

Adicionalmente cada algoritmo posee un conjunto de parámetros que afectan directamente a su desempeño. Por consiguiente, es fundamental calibrar estos parámetros para maximizar la probabilidad de éxito. En este sentido, el trabajo incluye una calibración previa de los algoritmos y un análisis estadístico de todas las simulaciones realizadas.

Una vez obtenido el conjunto de soluciones final, no existe evidencia alguna para determinar que la calidad de una sea superior al resto. Esto se debe principalmente a que los problemas multi-objetivo tienen que ser analizados por un experto en el área, dado que habitualmente las soluciones privilegian un objetivo por sobre otro. En este punto el programa ofrece la posibilidad de crear un vector W con los pesos relativos asignados a la importancia de cada uno de los objetivos estudiados.

Casos de estudio y resultados

Los algoritmos introducidos en el módulo de optimización se aplican sobre dos casos de estudio, analizándose en cada uno de ellos 3 tipos de demanda de consumo (baja, media y alta). El primer caso de estudio está basado en un problema de benchmarking disponible en la literatura (Sotelo & Baran, 2001), y sobre este caso se calibran los algoritmos mediante la comparación de los resultados con otros investigadores.

Posteriormente, dicha calibración se utiliza en la resolución de un caso de estudio real basado en la red de distribución de agua potable de Curicó (Chile), mostrada en la figura 1.

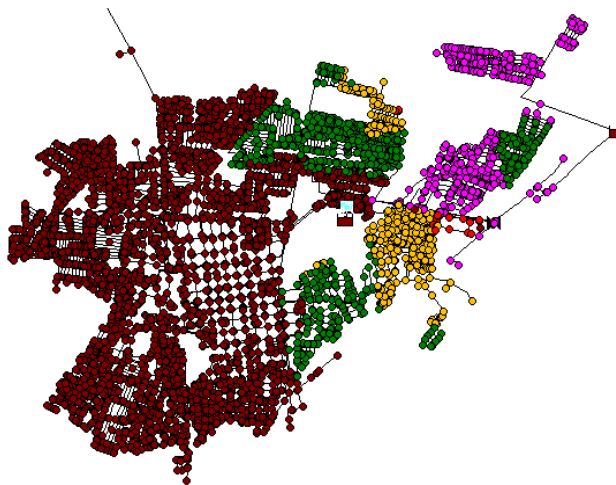


Figura 1.- Red de abastecimiento de agua de Curico.

Los resultados del trabajo incluyen el análisis estadístico de soluciones para calibrar los algoritmos, así como la interpretación de irán la mejor calibración paramétrica obtenida para cada uno de los algoritmos, tanto desde el punto de vista de la calidad como desde el punto de vista del coste computacional. Finalmente, el trabajo aplicará el criterio de eficiencia definido a fin de establecer un marco de comparación objetivo entre algoritmo.

Conclusiones

Este trabajo presenta y resuelve un problema de optimización del régimen de bombeo que considera distintos objetivos de optimización. Para ello, la metodología de optimización utilizada está basada en algoritmos evolutivos.

Los resultados del trabajo, considerando dos casos de estudio y tres tipos distintos de demanda demuestran que la aplicación de estas técnicas permite obtener un considerable ahorro tanto en el costo de la energía eléctrica como en los costos de mantención, que suponen normalmente los principales componentes del costo total de bombeo.

Referencias

- Lansey, K. E., & Awumah, K. (1994). Optimal pump operations considering pump switches. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 120(1), 17–35.
- Maier, H. R., Kapelan, Z., Kasprzyk, J., Kollat, J., Matott, L. S., Cunha, M. C., ... Reed, P. M. (2014). Evolutionary algorithms and other metaheuristics in water resources: Current status, research challenges and future directions. *Environmental Modelling & Software*, 62, 271–299. <http://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.09.013>
- Makaremi, Y., Haghghi, A., & Ghafouri, H. R. (2017). Optimization of pump scheduling program in water supply systems using a self-adaptive NSGA-II; a Review of theory to real application. *Water Resources Management*, 31(4), 1283–1304.
- Sotelo, A., & Baran, B. (2001). Optimización de los costos de bombeo en sistemas de suministro de agua mediante un algoritmo evolutivo multiobjetivo combinado (Pumping cost optimization in water supply systems using a multi-objective evolutionary combined algorithm). In *XV Chilean Conference on Hydraulic Engineering* (pp. 337–347).