

Uso de teoría de grafos para determinar zonas de vulnerabilidad en redes de abastecimiento de agua (Agua y ciudad), (Estructuras hidráulicas)

Joanna A. Gutiérrez, Manuel Herrera, Rafael Pérez-García, Joaquín Izquierdo

Grupo Fluing - Instituto de Matemática Multidisciplinar (IMM) – Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera s/n, 46022, Valencia – España.

{joagupre, mahefe, rperez, jizquier }@upv.es

Las infraestructuras críticas, como lo son las redes de abastecimiento de agua, están formadas por redes con estructura compleja. Su estructura se caracteriza por tener elementos altamente interdependientes y con un diseño no-trivial, cuyo grado de complejidad depende de las configuraciones y el nivel de interacción entre sus elementos. Un aspecto importante a considerar en el análisis de la topología de redes complejas, es que la estructura afecta el funcionamiento y por lo tanto, la arquitectura de la red puede ser usada para entender y predecir procesos dinámicos que afecten su desempeño y la distribución del flujo, así como también, su tolerancia y estabilidad.

La teoría de grafos se basa en un conjunto de medidas para evaluar las redes. Esas medidas pueden ser clasificadas como medidas de conexión básica, medidas espectrales y medidas estadísticas. Las medidas de conectividad básica representan la cohesión y adhesión de la red y su sensibilidad a la eliminación de algunos de sus elementos. Las medidas espectrales relacionan la topología de la red con la intensidad de la conectividad y la cohesión gráfica, mediante el análisis del espectro de la matriz de adyacencia de las redes. Por último, las medidas estadísticas cuantifican las propiedades subyacentes de la red, mediante la construcción de patrones de frecuencia y el establecimiento de subredes (Yazdani y Jeffrey, 2010).

Debido a las perspectivas que proporcionan las técnicas de simulación y optimización basadas en teoría de grafos, éstas han ganado importancia en el análisis de las vulnerabilidades potenciales de las redes de infraestructuras crítica. En este sentido, el ordenamiento de los nodos de una red es una propuesta reciente. Trabajos como el de Herrera *et al.*, (2011), demuestra las nuevas posibilidades en esta área mediante la adaptación del algoritmo Page-Rank de Google para el estudio de la importancia de los nodos. Grubestic *et al.*, (2008) y Yazdani y Jeffrey, (2010), investigaron aplicaciones de teoría de grafos y flujo en redes, en el análisis de la vulnerabilidad y robustez de sistemas de abastecimiento de agua. En ambos trabajos se revisaron las distintas medidas existentes para la indexación de nodos de la red, en su gran mayoría basadas en estadística y análisis espectral. Estas mediciones van más allá de las estadísticas y revelan informaciones como la conectividad de la red o sus niveles de tolerancia a los fallos en el flujo (Yazdani & Jeffrey, 2010). Otras referencias básicas sobre el ordenamiento de los elementos en una red de abastecimiento son la de Michaud & Apostolakis, (2006), quienes para evaluar la importancia de cada nodo, introdujeron una metodología basada en estudio de escenarios de riesgo. Izquierdo *et al.*, (2008), trabajaron en las tuberías, evaluando su importancia relativa respecto del proceso de distribución del agua a través de la red.

El objetivo de este trabajo es utilizar medidas basadas en teoría de grafos para el análisis de la estructura y el comportamiento de la red de abastecimiento. Asimismo, se cuantifica la importancia relativa de los nodos (*ranking*) para la conformación de zonas de vulnerabilidad en la red. Esta ordenación no sólo estará relacionada con índices de vulnerabilidad sino que podrá ser útil para análisis de calidad del agua, localización de sensores y el estudio de la viabilidad de planes de rehabilitación, entre otros. Además, el establecer un ranking en los nodos puede ser una herramienta de gran utilidad a la hora de buscar criterios eficientes de sectorización.

Referencias

Grubestic, T., Matisziw, T., Murray, A., Snediker, D. (2008) “Comparative Approaches for Assessing Network Vulnerability”, *International Regional Science Review*, vol. 31 (1), pp. 88-112.

Herrera, M. Gutiérrez-Pérez, J., Izquierdo, J., Pérez-García, R. (2011) “Ajustes en el modelo de page-rank de Google para el estudio de la importancia relativa de los nodos de la red de abastecimiento”, *Proceedings de X Seminario Iberoamericano de Abastecimiento de Agua, SEREA (Morelia, México)*

Herrera, M., Karatzoglou, A., Canu, S., Izquierdo, J., Pérez-García, R. (2009) “Clusters de abastecimiento de agua basados en aprendizaje semi-supervisado”, Proceedings de IX Seminario Iberoamericano de Abastecimiento de Agua, SEREA'09 (Valencia, España).

Michaud, D., Apostolakis, G.E. (2006), “Methodology for ranking the elements of water supply networks”, Journal of Infrastructure Systems, 12 (4), pp. 230–242.

Yazdani, A., Jeffrey, P. (2010) “A complex network approach to robustness and vulnerability of spatially organized water distribution networks”, e-print: <http://arxiv.org/abs/1008.1770v2>.