

RESUMEN

Es evidente como la alteración de los patrones espacio-temporales de los eventos meteorológicos y climáticos influye en los procesos hidrológicos; incrementando su incertidumbre, dificultando su predicción, y provocando una mayor presión sobre los recursos hídricos. A su vez, esta realidad supone un escenario complejo para la sostenibilidad y disponibilidad de los recursos hídricos, y en especial de los superficiales. Sin embargo, ofrece un reto científico para el desarrollo de nuevos enfoques que permitan aumentar la resiliencia hídrica de un territorio, basados en el conocimiento.

Por otro lado, la aplicación del paradigma de la Inteligencia Artificial al ámbito hidrológico ha supuesto un punto de inflexión a la hora de abordar el análisis “profundo” de la información (datos, interrelaciones, etc.), dando lugar a avances significativos en la causalidad, la inferencia causal a partir de datos observacionales y la cuantificación de la incertidumbre. En las últimas décadas, son reseñables las innovaciones en este campo sobre modelos gráficos, lo que ha provocado que éstos hayan ganado notoriedad entre la comunidad científica. Esto se debe a su formalismo intuitivo, que permite modelar estructuras de datos mediante un conjunto de nodos y aristas que definen una red. De entre estos modelos, destacan las redes neuronales, con un amplio y diverso espectro de enfoques metodológicos, y las redes bayesianas. Sin embargo, éstas últimas han recibido mucha menor atención, especialmente en su aplicación al descubrimiento de estructuras causales en series temporales; si bien, presentan características de interés para abordar este desafío. Principalmente, las redes bayesianas destacan por su capacidad para abordar problemas de razonamiento en condiciones de incertidumbre (razonamiento plausible); la posibilidad de incorporar el conocimiento experto en el proceso, además de la inferencia y el razonamiento omnidireccional (dinamismo) ante cualquier evidencia sobre la red, total o parcial.

Las características distintivas de las redes bayesianas, junto con el reto de descubrir estructuras causales en series temporales hidrológicas, han inspirado esta Tesis Doctoral desde la perspectiva de la modelización causal (Causalidad Bayesiana). Esta novedosa área de investigación hidrológica, implementada mediante redes bayesianas, se basa en el Razonamiento Causal como metodología de análisis centrada en la causa, y cuyo objetivo es predecir su efecto o consecuencia. Para este fin, se ha diseñado un innovador marco metodológico que ha permitido evaluar su potencial para mejorar el conocimiento espacio-temporal de los recursos hídricos superficiales, y su aplicación a la predicción hidrológica. A su vez, este marco ha permitido descubrir la estructura lógica causal temporal, y/o espacio-temporal que caracteriza la respuesta hidrológica de una o varias cuencas. Dicha estructura, latente en los registros temporales hidrológicos, define el comportamiento de los recursos hídricos superficiales, y hasta ahora no se había sido investigada suficientemente, a pesar del potencial que este enfoque supone.

Asimismo, la modelización causal bayesiana ha permitido identificar interacciones espacio-temporales claves a partir de la señal de dependencia presente en los registros históricos hidrológicos. Interacciones, incluso débiles, que se han podido poner de manifiesto en el caso de cuencas con un comportamiento temporal esencialmente independiente, y un limitado número de registros; condiciones éstas bajo las que también se ha evaluado su capacidad de predicción. Asimismo, ha sido posible optimizar los factores claves implicados en el proceso de aprendizaje-entrenamiento de los modelos causales bayesianos, como son el número de series sintéticas y los intervalos de las distribuciones discretas de probabilidad de los datos sintéticos.

En resumen, la modelización causal (Causalidad Bayesiana), a partir de los registros temporales de aportaciones, ha demostrado ser un enfoque eficiente y robusto para su aplicación al análisis y predicción de procesos naturales complejos como los hidrológicos.