

Joaquín Andreu Álvarez,
Premio Nacional de Ingeniería Civil 2023

Gestionar la incertidumbre

En tiempos de cambio climático, cuando la racionalización del uso del agua resulta cada vez más vital y compleja, su labor investigadora ha permitido crear herramientas cuya aplicación práctica facilita la planificación y gestión de los Sistemas de Recursos Hídricos.

● Texto: Julia Sola Landero



Río Turia,
en la Demarcación Hidrográfica del Júcar.



Participando en un encuentro Asia-Europa sobre Desarrollo sostenible en la gestión del agua, en Tulcea (Rumanía).



Visita a la cuenca del río Hai (China), para un proyecto del gobierno chino de restauración de humedales en colaboración con la Universidad de Pekín.

Joaquín Andreu ha

sido galardonado con el Premio Nacional de Ingeniería Civil 2023 otorgado por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, en reconocimiento por su brillante trayectoria en Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i), que se ha traducido en la creación de modelos matemáticos de simulación y optimización con los que se ha analizado la gestión de los recursos hídricos de numerosas cuencas fluviales.

Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, es profesor e investigador del Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de València (IIAMA-UPV), donde conjuga la docencia con las actividades de

I+D+i sobre planificación y gestión integradas de los Sistemas de Recursos Hídricos (SRH).

Reconocido experto en planificación hidrológica, sequía y cambio climático aplicado al agua, ha dirigido sus trabajos de investigación a compatibilizar la actividad humana con la protección del medio ambiente y el uso sostenible del agua. En tiempos de incertidumbre climática, cuando la racionalización de los recursos hídricos resulta cada vez más vital y compleja, la labor investigadora de Andreu ha llevado a la creación de herramientas que permiten la aplicación práctica de medidas que contribuyan a mejorar el diseño de los SRH. Para ello, ha desarrollado modelos matemáticos de simulación y optimización de recursos hidrológicos aplicables a la hora de diseñar la gestión de una cuenca.

La creación de estos modelos supone adelantarse a posibles situaciones de tensión hídrica originadas por sequías o por impacto de los cambios globales. Cuestión compleja porque, además, una cuenca fluvial es un microcosmos compuesto por un conjunto de elementos que deben guardar el equilibrio en las distintas situaciones climáticas que padecen. De ese microcosmos forman parte, junto al agua que fluye, los embalses, azudes y canales; la demanda hídrica para usos urbanos, industriales, agrícolas e hidroeléctricos; o los sistemas de reutilización de aguas. Aunque la complejidad de su gestión no solo deriva de sus características físicas, sino también de aspectos legales, sociales, económicos y medioambientales, como son la asignación de derechos de uso del agua, cánones, cuencas intercomunitarias, zonas protegidas, etc.

En un curso organizado por REMOC para la UNESCO sobre Utilización Conjunta de Aguas Superficiales y Subterráneas.



En un taller internacional sobre Análisis de riesgos aplicado a la seguridad de presas en España.





Organizador y ponente del Encuentro Internacional sobre Sistemas Soporte de Decisión para la Gestión Participativa del Agua celebrado en la Universitat Politècnica de Valencia.



Participación en el Laboratorio Interciudades de la Unión Europea y China, sobre Gobernanza del agua, celebrado en Hefei, China.

Lograr la mejor relación entre todas las piezas requiere establecer parámetros que se traduzcan en herramientas con una aplicación práctica. Ese conjunto de parámetros se conjuga mediante unas metodologías que combinan modelos de simulación, de optimización, y de predicción, y que pueden incorporar algoritmos evolutivos. Estos modelos permiten emular la gestión de un SRH, incluyendo la definición de unas Reglas de Gestión (RG), mientras que los algoritmos evolutivos se encargan de realizar predicciones hidrológicas futuras basadas en las predicciones estacionales y las proyecciones climáticas que nos proporcionan los servicios meteorológicos y climáticos.

Uno de los mayores problemas para conseguir modelos de simulación con un alto grado de

precisión es la incertidumbre ante el desconocimiento de la climatología futura. Las proyecciones meteorológicas a escala fluvial se calculan utilizando el análisis de la serie histórica de precipitaciones y de sequías, que, si es suficientemente larga, contiene una información muy valiosa; y también, profundizando en la interacción con los proveedores climáticos para conocer mejor los métodos utilizados por éstos. Éste es un punto crítico dado que, aunque en los últimos 20 años se ha avanzado mucho en las previsiones, su precisión es todavía incierta en el largo plazo, lo que es muy limitante en las cuencas mediterráneas donde se dan sequías de larga duración. Las metodologías desarrolladas por Andreu pretenden reducir esas incertidumbres y así facilitar la toma de decisiones.

Interpretar el futuro

En este sentido, supuso un paso adelante el proyecto europeo de investigación Imprex (*Improving Predictions and management of hydrological Extremes*), que se centró en la mejora de las proyecciones climáticas y las predicciones de precipitación y temperatura, y su aplicación práctica a la mejora de la gestión de cuencas fluviales, con énfasis en fenómenos extremos. Finalizó en 2019 tras 4 años de trabajo, y en él participaron 23 socios de 9 países. El proyecto nace de la necesidad de hacer un análisis preciso de las predicciones climáticas, su reducción a escala de cuenca y su consecuente corrección para que sean más representativas de las cuencas en las que se aplican.

El grupo de Ingeniería de Recursos Hídricos del Instituto

En una conferencia internacional de la asociación de organismos de cuenca Asiáticos (NARBO), en Indonesia.

En una misión para el ADB (Banco asiático de desarrollo) en el estado de Narmada (India).



Proyectos en marcha

Actualmente, Andreu sigue trabajando de forma permanente en el proyecto de desarrollo y puesta al día de las herramientas del entorno AquaTool. Últimamente se han desarrollado versiones de los modelos de simulación y optimización que trabajan a escalas menores que el mes, llegando a la escala diaria. Y se están desarrollando las correspondientes versiones de las interfaces de usuario.

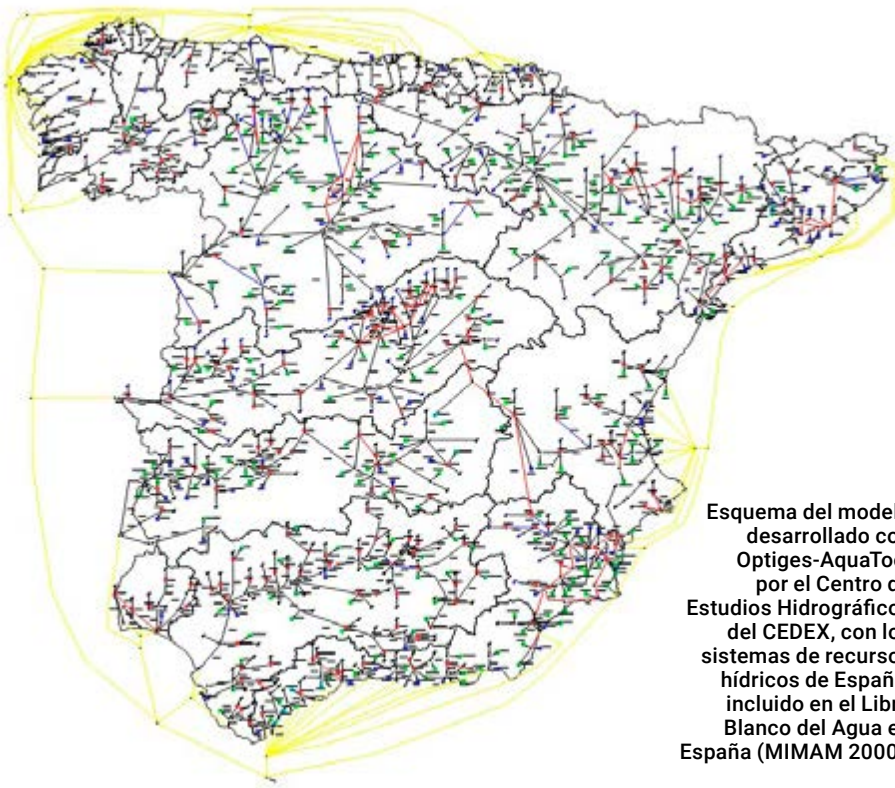
Otro proyecto interesante en el que está inmerso es el proyecto europeo AgreeMar, dentro del programa PRIMA y financiado por la Agencia Estatal de Investigación (PC12022-133001) sobre recarga artificial de acuíferos para mejorar las garantías de las demandas y la calidad de las aguas, así como sobre la gobernanza de este tipo de actuaciones.

También se está planificando la fase de explotación y comercialización de resultados de un proyecto recientemente terminado para la Dirección General del Agua (DGA), financiado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) mediante una compra pública precomercial para el "Desarrollo de soluciones en el ámbito de los sistemas informáticos de apoyo a la toma de decisiones en la gestión del agua", utilizando el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Río Segura (CHS) como cuenca piloto. En este proyecto competitivo, adjudicado a la UTE Aquatec-Sers-Fulcrum, con la participación de otros grupos del IIAMA de la UPV, el trabajo de su equipo ha consistido fundamentalmente en el desarrollo de un sistema de predicción probabilística para la gestión en cantidad y calidad del recurso hídrico a escala diaria. Este sistema de predicción se ha integrado, junto con los desarrollos de los otros socios, en una plataforma para la gestión eficiente y sostenible del sistema de recursos hídricos del Segura.



Humedal de la Albufera, en la Demarcación Hidrográfica del Júcar.





Esquema del modelo desarrollado con Optiges-AquaTool por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, con los sistemas de recursos hídricos de España, incluido en el Libro Blanco del Agua en España (MIMAM 2000).

y de la efectividad de las medidas de mitigación en la gestión a medio plazo (a meses vista) del SRH mediante la incorporación de predicciones estacionales de T y P.

Sistemas Soportes de Decisión

Ambas líneas se han incorporado al entorno AquaTool, diseñado para la creación de Sistemas Soportes de Decisión (SSD) para los SRH. Estos SSD permiten utilizar, de forma explícita y detallada, información actualmente proporcionada por los servicios meteorológicos, tanto en el largo como en el corto-medio plazo (anteriormente los pronósticos se definían de una forma muy simplificada y con una baja fiabilidad). De esa forma, AquaTool permite simular de forma fiable el comportamiento de la cuenca y la gestión de sus recursos. Desarrollado por el GIRH, el primer hito en la creación del entorno AquaTool se

de Ingeniería del Agua (GIRH) del IIAMA-UPV, con Andreu como investigador principal, participó en el proyecto Imprex estudiando la cuenca del Júcar en relación con las sequías y poniendo el foco en dos aspectos: primero, en mejorar

la estimación de la fiabilidad y vulnerabilidad del SRH de la cuenca a largo plazo (a años vista) mediante el uso de proyecciones climáticas de temperatura (T) y de precipitaciones (P). Y segundo, en mejorar la estimación del riesgo de sequía





El río Júcar a su paso por Alcalá del Júcar.



Una trayectoria impecable

Más allá del Doctorado, Andreu cuenta con un máster en Ciencias de la Ingeniería Civil por la Universidad Estatal de Colorado. Es también catedrático del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente (DIHMA) en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (ET-SICCP) de la UPV, llegando a ser director del Departamento e incluso director de la Escuela. Además, es el responsable del Grupo de Ingeniería de Recursos Hídricos (GIRH) del Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA) de la UPV, instituto del que también fue director fundador.

Destaca, entre otros hitos, su trabajo como director técnico de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ), donde reforzó la toma de decisiones en el ámbito de la gestión de los sistemas de recursos hídricos en tiempo real mediante el uso de modelos y sistemas soporte de decisión y procesos participativos. Además, supervisó más de 100 proyectos de obras, instalaciones y actuaciones estructurales y medioambientales en el ámbito de la CHJ.

En la actualidad, es jefe del equipo de investigación que ha desarrollado el Sistema Soporte de Decisión AquaTool para la planificación y gestión de recursos hídricos, utilizado en la práctica por numerosas agencias de cuenca, organismos de investigación y empresas consultoras, tanto en España, como en otros países.

Joaquín Andreu ha sido investigador en más de 50 contratos de I+D+i y transferencias con entidades de la Administración y empresas consultoras, así como en más de 50 proyectos de I+D+i competitivos (financiados por las Comunidades Europeas o por el Ministerio de Ciencia y Tecnología).

Es autor de más de 180 publicaciones en revistas y ponencias en congresos sobre planificación y gestión hídrica, entre otros. Además, ha sido director o codirector de 25 tesis doctorales y autor y editor de varios artículos y libros, destacando su labor como revisor de importantes revistas científicas y miembro del Comité Editorial del Journal of Water Resources Management.

Dada su dilatada experiencia, ha sido consultor para el Banco Interamericano de Desarrollo, para el Banco Asiático de Desarrollo y para el Banco Mundial. La Asociación Europea de Recursos Hídricos le concedió en 2019 el Certificado de Honor como Miembro Distinguido "por su destacada contribución al campo de la gestión de los recursos hídricos".



Joaquín Andreu ante la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, Valencia.

produjo en 1987, con el desarrollo del modelo Optiges, en el que Andreu trabajó para crear un modelo de optimización que tiene en cuenta las relaciones entre embalses, canales, demandas, elementos de bombeos y recargas artificiales, entre otros factores.

A finales de los años 80 se utilizó para el análisis de algunos subsistemas del río Ebro (los ríos Ega y Arga en Navarra, e Iregua en

La Rioja) y para analizar la gestión de la cuenca del Segura, un río cuyo complejísimo sistema requirió el uso combinado de modelos de optimización y simulación para conjugar todos los elementos que componían la cuenca: 14 embalses; 19 acuíferos; 3 subsistemas principales de transporte y distribución del agua superficial; el trasvase desde el Tajo; una compleja asignación de derechos de uso del

agua; y una demanda que duplica los recursos renovables.

A principios de los años 90 se diseñó la herramienta AquaTool, que permite diseñar gráficamente un sistema de recursos hídricos, junto con sus características físicas y condiciones de gestión, para su posterior optimización y/o simulación.

Las herramientas y modelos disponibles en el entorno AquaTool

Lago de La Albufera, en la Demarcación Hidrográfica del Júcar.





Miembros del jurado que han otorgado el premio a Joaquín Andreu.

son utilizados actualmente de forma generalizada por las distintas Confederaciones Hidrográficas españolas para la elaboración de planes hidrológicos de cuenca (esenciales para la asignación y reserva de recursos, y para el cumplimiento de los requerimientos ambientales), y para la gestión en tiempo real del medio plazo (meses). En este último caso, su utilización permite determinar las probabilidades de fallo en cada uno de los meses futuros en el cumplimiento de las exigencias ambientales, y del suministro a cada uno de los usos. A partir de esas estimaciones probabilísticas del riesgo de fallo, generalmente causado por sequías, se pueden proponer medidas de mitigación, comprobar la disminución del riesgo de fallo que éstas producen, y tomar así las decisiones más adecuadas. Así, los SSD resuelven el problema de la asignación óptima de recursos y funcionan como asistente para desarrollar esquemas de trabajo, y para gestionar datos y resultados para la gestión de largos periodos de tiempo (generalmente decenas de años), con escala temporal básica mensual. Y, además, incluyen módulos para la valoración de la calidad del agua y el cálculo de indicadores biológicos en distintos tramos del río, entre otros factores.

Tal ha sido el rendimiento de estos SSD, que, además de en las cuencas españolas, su uso se ha extendido en aplicaciones prácticas también a cuencas de Argentina, Italia, Chipre, Bosnia, Chile, Argelia, Ecuador, El Salvador, Turquía, Perú, Bolivia, México y Uruguay, entre otros, así como en múltiples aplicaciones de I+D+i en esos mismos y otros países, como Italia, Marruecos, Brasil, China, Túnez y Portugal, entre otros.

Cuenca del Júcar

Primero, en diversos proyectos realizados desde la universidad, y después, como director técnico de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ), Andreu ha estudiado en profundidad esa cuenca durante varias décadas, desarrollando un SSD mediante el entorno AquaTool. Como muchas otras cuencas españolas, la del Júcar sufre de gran aridez (dos tercios de la superficie de España está clasificada como semiárida); altas temperaturas y un alto grado de explotación del agua (las demandas establecidas en las cuencas españolas superan el 40% de los recursos renovables en la mayor parte de ellas, y muchas están próximas al 100%, e incluso por encima); y fuerte irregularidad en las precipitaciones y caudales naturales, y alta propensión a las sequías.

En el Júcar, se tienen también episodios de lluvias torrenciales que pueden provocar desbordamientos catastróficos, y que pueden darse incluso dentro de un período de sequía, sin que esto suponga la finalización de la sequía en el SRH. En este escenario de incertidumbre climática, resulta fundamental la utilización de los SSD, para estimar el comportamiento hidrológico futuro a largo plazo o a medio-corto plazo y para una cuantificación probabilística de la evolución de las variables hidrológicas. Por ejemplo, en términos de probabilidades de déficit en el suministro de una determinada cuantía de agua a una determinada demanda; o de probabilidad de superar un determinado volumen de agua almacenado en un determinado embalse. De esa forma, en la gestión de la larga sequía en el SRH durante los años 2004 a 2008, se consiguieron muy buenos resultados.

Desde hace dos décadas, ese es el modelo de gestión usado en la cuenca del Júcar, y a cuya versión actual se llegó de forma consensuada con los agentes de la cuenca en un interesante ejercicio de desarrollo participativo y de transparencia realizado en el año 2005, coordinado por Andreu, como director técnico de la CHJ. ■