



### Félix Francés

Catedrático de Universitat Politècnica de València  
y responsable del Grupo de Investigación  
en Modelación Hidrológica y Ambiental del IIAMA

TETIS es un modelo integral, que reproduce todos los procesos hidrológicos importantes a escala de cuenca, en el sentido de que puede utilizarse tanto en problemas de evaluación de recursos como de crecidas

# La investigación continua en la modelación hidrológica

**A**cabamos de lanzar en mi grupo de investigación la versión 9 de nuestro modelo hidrológico TETIS y estamos muy contentos y muy satisfechos con el resultado conseguido, pero ya estamos trabajando en mejorarlo ¿Por qué?

En primer lugar, es necesario explicar que un modelo hidrológico es un caso particular de modelo matemático. En los modelos hidrológicos, las variables meteorológicas -precipitaciones y temperaturas- son *inputs* del modelo, es decir, tienen que ser conocidas por observación del pasado o ser el resultado de las predicciones de otros modelos de tipo meteorológico o climático. Y aunque los modelos matemáticos nos sirven para entender mejor la realidad, desde el punto de vista práctico se construyen para conocer lo que no ha sido observado en el pasado o lo que puede ocurrir en el futuro.

De este modo, los modelos hidrológicos nos sirven para completar las series existentes de las variables de interés a partir de observaciones históricas de *inputs* o para realizar predicciones a corto plazo -crecidas- o medio plazo -sequías- a partir de predicciones de los *inputs*. También, nos ayudan en la evaluación cuantitativa de la respuesta de los caudales, sedimentos, nutrientes, contaminantes, etc., frente a

escenarios sobre el clima, usos del suelo, prácticas agrícolas, incendios, gestión de embalses, urbanización, etc.

Por todo ello, los resultados de la modelación hidrológica son claves en la toma de decisiones que, en muchos casos, tienen unas fuertes implicaciones económicas y sociales, como por ejemplo en la determinación de las zonas de inundación, donde los daños se miden en millones de euros e involucran el riesgo de pérdida de vidas humanas. Estas son las razones, por las que se nos exige a los modeladores la máxima precisión en nuestro trabajo.

A lo largo del tiempo se han ido desarrollando modelos cada vez más complejos que pueden simular la respuesta de un número elevado de variables de estado y de *outputs* en cualquier posición de la cuenca hidrológica. El desarrollo y la aplicación de modelos de cuenca tienen que tener en cuenta las implicaciones de la disponibilidad de datos, complejidad del modelo, su desempeño y la identificabilidad de sus parámetros y estructura.

En este contexto, desde 1996 en el Instituto Universitario de Investigación en Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA) de la UPV estamos mejorando y evolucionando de forma continua nuestro modelo hidrológico TETIS.

Este *software* es un modelo matemático conceptual, con parámetros de base física, distribuido en el espacio mediante la división del mismo en celdas cuadradas regulares y en el que la integración numérica de sus ecuaciones se realiza mediante diferencias finitas. Se trata de un modelo integral, en el sentido que reproduce todos los procesos hidrológicos importantes a escala de cuenca, por lo que puede utilizarse tanto en problemas de evaluación de recursos como de crecidas, e incluyendo en la versión actual la posibilidad de la existencia de presas, pérdidas de transmisión en los cauces, hidrogeología kárstica, modelación de nutrientes y los procesos de erosión, transporte y depositación de sedimentos.

Este último aspecto, es una de las claves de éxito de este modelo en su utilización para el análisis y predicción en el aterramiento de embalses de alta montaña. Además, la estructura interna de los parámetros efectivos en TETIS permite una ágil calibración de los mismos de forma automática.

Todo ello provoca que en sus más de 20 años, este modelo de libre distribución en su versión para PCs haya sido ampliamente utilizado en España y Latinoamérica y otros países como China, EEUU, Francia o Indonesia. De hecho, TETIS se ha implementado en cuencas de todo tamaño, desde menores a 1 km<sup>2</sup> hasta los 98,500 km<sup>2</sup> del río Ródano y cubriendo un amplio rango de climas, desde el árido hasta el húmedo con aplicaciones en climas tropicales y alpinos.

De todas estas aplicaciones, me gustaría destacar dos de ellas a modo de ejemplos. La primera es el hecho de que en estos momentos el modelo TETIS se encuentra operativo con

una resolución espacial de 500 m como modelo de predicción de crecidas en el SAIH de la Agencia Vasca del Agua, y al mismo tiempo sirvió de base para la estimación de recursos hídricos del País Vasco. Es decir, el mismo modelo está funcionando para resolver problemas de crecidas con discretización cincominutal y de recursos hídricos a escala temporal diaria. La segunda es un estudio que estamos finalizando ahora de comparación del efecto de diferentes medidas para la disminución de los aportes de nitrógeno y sedimentos a la laguna del Mar Menor, con tamaño de pixel de 5 m y paso de tiempo diario.

Pero somos investigadores, no estamos quietos, nos gustan los nuevos retos y ya nos hemos puesto a trabajar en nuevos avances dentro de TETIS, en la medida de que se trata de nuestro “laboratorio virtual”.

Una de las líneas de mejora es la incorporación de la incertidumbre en el resultado de la predicción, especialmente para el caso de escenarios de cambio climático. Es decir, ya nos estamos adelantando en el desarrollo de herramientas que incorporen la incertidumbre en la toma de decisiones, lo que es importante en la medida de que una decisión puede ser diferente y mejor si se dispone de este tipo de información. La segunda línea es la de la explotación de la información espacial, cada día más abundante gracias al desarrollo que en los últimos años han tenido la cartografía digital, los sistemas de información geográfica y las mediciones con sensores remotos como son la información de satélite o más recientemente, la utilización de drones. Pero esto ya será en la versión 10.

## Félix Francés

Catedrático de Universitat Politècnica de València y responsable del Grupo de Investigación en Modelación Hidrológica y Ambiental del IIAMA

Una de las líneas de mejora es la incorporación de la incertidumbre en el resultado de la predicción, especialmente para el caso de escenarios de cambio climático