

Factores que influyen en la transferencia de la investigación hidrológica hacia las aplicaciones prácticas

por Ann Calver¹

Se ha desarrollado un amplio conjunto de enfoques que permiten a los hidrólogos aplicados analizar las cuestiones relacionadas con los recursos hídricos y con la gestión de los riesgos por crecida. La disponibilidad casi global, a través de la web, de información y de métodos y programas de formación a distancia, extiende el dominio geográfico en la que este conjunto de técnicas se halla disponible. ¿Qué decide cuáles son los métodos más empleados en la práctica? Los factores que determinan su transferencia desde el ámbito de la investigación hacia el subconjunto de procedimientos más utilizado en la práctica no son de naturaleza puramente técnica, sino también económica, ambiental y social.

Financiación de la investigación

La investigación hidrológica puede ser pura o aplicada, y es complicado, a veces, asociar el desarrollo de procedimientos prácticos con un frente de investigación específico. Aunque no siempre es así, tras una buena técnica de hidrología aplicada suele existir una cantidad significativa de inversión. Los países con economías relativamente boyantes son a menudo los únicos que pueden permitirse el "lujo" de mantener a largo plazo una inversión importante en investigación. Y esta última proporciona, así mismo, el beneficio de la formación y del desarrollo de técnicos y puede fomentar el contacto científico entre comunidades y naciones.

Los programas de investigación hidrológica se llevan a cabo desde organizaciones del sector público, desde universidades y desde el ámbito privado. Las organizaciones y los marcos internacionales poseen el potencial de extender la base nacional de la innovación hidrológica. El Sistema Europeo de alerta temprana de inundaciones (véase el cuadro A), que actualmente está alcanzando un grado de madurez práctico, constituye un ejemplo de iniciativa semejante.

Impulso político

La motivación política por priorizar la investigación hidrológica estimula el desarrollo de métodos y técnicas prácticas. Es comprensible que exista una tendencia a la aparición de esa motivación tras algún desastre, en particular cuando episodios graves de sequía o de inundaciones afectan al suministro público de agua, a la agricultura y a la industria. Las respuestas a los desastres favorecen, en ocasiones, la aplicación de planes hidrológicos antes que el desarrollo de métodos nuevos o actualizados. Por ejemplo, la inundación costera y fluvial excepcionalmente severa de 1953 impulsó el desarrollo y la construcción del sistema de barreras contra crecidas del río Támesis en Londres, y generó el estímulo necesario para mejorar la metodología del cartografiado de niveles de riesgo de inundación en zonas interiores del territorio del Reino Unido. El reconocimiento por parte de las instancias normativas de los efectos climáticos a largo plazo, así como de las amenazas hidrológicas generadas a corto plazo por las condiciones meteorológicas, proporciona una base para darse cuenta de la necesidad de un desarrollo e investigación mantenidos a lo largo del tiempo.

¹ Ann Calver es investigadora y asesora en materia hidrológica y ha desempeñado varias funciones en la OMM. anncalver@acw-associates.co.uk

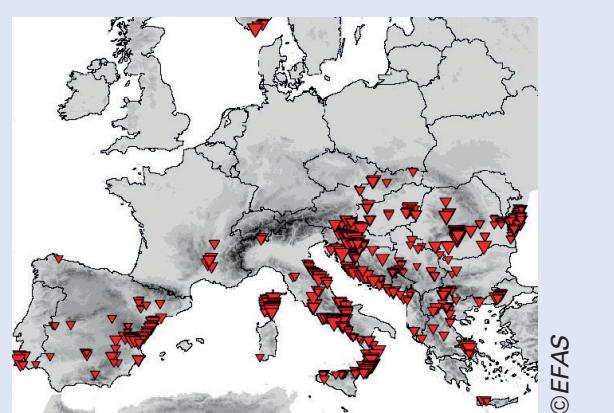
El Sistema Europeo de alerta temprana de inundaciones plenamente operativo desde 2012

Centro Común de Investigación de la Unión Europea y otros

Objetivo y método: Reforzamiento de la preparación ante crecidas fluviales e información de alertas de inundación armonizada a nivel transnacional en Europa. Uso del pronóstico de precipitación por conjuntos generado por el Centro europeo de predicción meteorológica a medio plazo combinado con el modelo de escorrentía híbrido físico/conceptual LISFLOOD enlazado con canalización fluvial.

Financiación del desarrollo: Parlamento Europeo y Direcciones Generales de la Comisión Europea; expertos financiados por los países; validación por parte de los Servicios Hidrológicos Nacionales.

Factores que motivaron el desarrollo: Reconocimiento por parte de la Unión Europea (UE) de que las alertas de inundaciones en el pasado eran de diferente calidad e incompatibles entre países, lo que suponía dificultades para la planificación y para la organización de la ayuda. Toque de atención como consecuencia de las grandes inundaciones del Elba y del Danubio en 2002.



Alertas por crecida repentina en octubre de 2015

Adopción por parte de la UE como una iniciativa emblemática en la mitigación de desastres transnacionales.

Factores que afectan a la transferibilidad: La cobertura a gran escala está integrada en el sistema; no necesariamente apropiado en escalas espaciales más pequeñas. Principios transferibles a gran escala si se costean los productos procedentes del modelo meteorológico y los mecanismos de transferencia de datos y si se puede calibrar el modelo hidrológico.

Cuadro A

La capacidad de resolver adecuadamente la escala de tiempo de interés puede ayudar a paliar los problemas en el plazo operativo más corto. En el contexto de desbordamiento fluvial, por ejemplo, obtener a efectos de planificación una buena estimación de la frecuencia de crecidas a largo plazo puede mitigar, hasta cierto punto, la dependencia completa de los sistemas de alerta de inundaciones. Iniciativas estratégicas, como el Marco Mundial para los Servicios Climáticos, liderado por la OMM, y el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres pueden impulsar el desarrollo o la mejora de las técnicas hidrológicas. La financiación necesaria para alcanzar objetivos ambiciosos y destacados tendría que estar garantizada.

Estas iniciativas políticas son muestras elocuentes del desarrollo metodológico impulsado por la demanda, en contraposición a la investigación dirigida por las ideas. La motivación política también puede ser un factor que contribuya a promover el uso de una técnica hidrológica más allá de su país de origen, ya sea por razones de influencia, de interés comercial o de preocupación humanitaria. Por ejemplo, la OMM junto a organizaciones humanitarias de los Estados Unidos de América crearon

las Orientaciones sobre crecidas repentinas en la región de África Meridional con la finalidad de mitigar los efectos de los riesgos hidrometeorológicos. Esta iniciativa se amplió posteriormente para incluir sistemas regionales de pronóstico y alerta de crecidas.

Generalidad de los métodos

En igualdad con el resto de propiedades, tienen mayor posibilidad de ser adoptados aquellos resultados de la investigación que presenten una capacidad de aplicación más general en entornos diversos. Resultan claramente ventajosos los métodos muy robustos que producen salidas con incertidumbres bajas. Puede ocurrir que las limitaciones de la aplicación no siempre se puedan especificar debido a consideraciones de tipo científico, comercial, o ambos, pero lo que sí debería establecerse, en favor de una utilización apropiada y responsable del método, es su rango estimado de aplicabilidad. La naturaleza de las simplificaciones planteadas en los métodos teóricos y numéricos influye en cómo son de aplicables estos métodos en la práctica.



El desarrollo de modelos y métodos hidrológicos suele estar proyectado para un uso generalizado, pero los métodos pueden incorporar adicionalmente algunas características locales, regionales o nacionales implícitas. Estas pueden referirse directamente al propio entorno hidrológico o, por ejemplo, al estado del registro y la disponibilidad de los datos hidrológicos en un país o región.

Los sistemas de cálculo y modelización que son nominalmente generales requieren, a menudo, la determinación de valores de parámetros aplicables localmente. El Manual de estimación de crecidas (véase el cuadro B) describe un mecanismo de estimación de la frecuencia de las crecidas fluviales mediante ecuaciones empíricas parametrizadas que abarcan la variedad de entornos británicos. Desde el punto de vista conceptual, su marco de aplicación es más amplio pero, más allá de la región para la que fue diseñado, ha sido objeto de escasas verificaciones y reparametrizaciones.

Lo extendido que pueda llegar a estar el uso de una técnica también se encuentra condicionado por su nivel de transferibilidad a distintas escalas espaciales y temporales. En escalas espaciales distintas se invocan niveles de detalle diferentes, algo que no tiene por qué poder abordarse mediante una elevada potencia de cálculo (incluso donde los datos no sean un problema). Especialmente difícil es proporcionar metodologías robustas para episodios extremos con largos períodos de retorno, dado que rara vez ocurren y, aún más raramente, quedan registros con medidas.

Masa crítica de utilización

Un factor determinante de la supervivencia de una técnica con respecto a otras similares es la existencia

de una masa crítica de usuarios. En las grandes organizaciones de los sectores público y privado, las técnicas que se juzgan de generalidad y calidad razonables se adoptan a menudo como patrones debido a su compatibilidad y a su eficacia comprobada. Esta adopción supone a su vez, al menos de manera temporal, el aumento del predominio y la longevidad de la técnica.

Por ejemplo, un órgano consultivo del gobierno australiano recomendó un método para modelar estiajes (véase el cuadro C), así que estos procedimientos se han puesto en marcha ampliamente a nivel nacional. Del mismo modo, en Inglaterra y Gales, el regulador medioambiental utiliza un método basado en un sistema de indicadores de procesos como base de referencia para determinar, en su estrategia nacional de concesión de licencias de agua, los recursos potenciales de extracción de agua. Este último caso es un ejemplo de un método que responde a un requisito legal pese a que en la legislación no se estableció la técnica a utilizar. La longevidad y la prevalencia del uso de un método se logran generalmente en tales circunstancias.

Los métodos de modelado hidrológico que se utilizan como condiciones de contorno terrestres en sistemas de modelización atmosférica también ganan terreno en la extensión de su uso.

Material complementario

La documentación complementaria –elaborada, bien por los autores del método, bien por los usuarios, o por organizaciones– favorece la adopción de un método en particular. El suministro de material de formación desempeña un papel importante en la difusión y aceptación práctica de nuevos métodos y también en su inclusión en programas educativos hidrológicos. La generalización

El Manual de estimación de crecidas de 1999 y sus suplementos

Instituto de Hidrología, Wallingford (Reino Unido)

Objetivo y método: Estimación de las precipitaciones y de los caudales máximos de las crecidas fluviales para un conjunto de períodos de retorno en lugares con pocos o ningún dato específico. Métodos estadísticos y de escorrentía basados en datos combinados.

Financiación del desarrollo: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación para Gales e Inglaterra (posteriormente Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales); complementado por el Consejo de Investigación del Medio Natural del Reino Unido.

Factores que motivaron el desarrollo: La necesidad reconocida a nivel de departamento gubernamental; el importante conjunto de usuarios; la adopción de la herramienta por parte de los reguladores ambientales (Agencia de Medio Ambiente, Agencia Escocesa de Protección del Medio Ambiente); el reconocimiento de que esta es probablemente la herramienta británica más destacada para la estimación de la frecuencia de crecidas en zonas con escasez de datos.

Ejemplo de aplicación práctica: Como forzamiento en la parte alta de las cuencas durante el proceso de



modelado hidráulico fluvial para la evaluación del riesgo de inundación en todo el país.

Proyectado como continuación del exitoso Informe sobre estudios de crecidas de 1975, motivado este último por las graves inundaciones de 1953.

Factores que afectan a la transferibilidad: Transferible, en principio, a otras cuencas de zonas templadas húmedas con áreas comprendidas entre 0,5 y 1 000 km². Las relaciones entre las variables hidrológicas y las propiedades de las cuencas no se han verificado ampliamente fuera del Reino Unido y requieren una gran cantidad de datos.

Cuadro B

del acceso al material utilizando la web ha ampliado considerablemente el ámbito geográfico de las fuentes de información y de los programas de formación a distancia.

La OMM desempeña un papel fundamental en las actividades internacionales de difusión y de creación de capacidad en materia de hidrología. Entre los ejemplos más importantes de formación hidrológica y de material de referencia de la OMM, que se utilizan ampliamente, figuran las publicaciones: *Guía de Prácticas Hidrológicas*, *Manual on Flood Forecasting and Warning [Manual para la predicción y alerta de crecidas]* y *Manual on Low-Flow Estimation and Prediction [Manual para la estimación y predicción del estiaje]*. De manera acertada, el énfasis se hace más en las formas de abordar los problemas hidrológicos que en los métodos y productos específicos.

Programas informáticos

Los métodos hidrológicos presentados en formato de programa informático ofrecen ventajas adicionales a la hora de favorecer su uso generalizado, especialmente para los desarrolladores que elaboran aplicaciones informáticas amigables y que las ponen a disposición de los usuarios de manera libre o a un coste muy reducido. También se logra otra ventaja significativa liberando los códigos fuente, lo que permite establecer vínculos con otras técnicas y ofrece a los usuarios la posibilidad de realizar modificaciones.

El sistema de modelado de aguas subterráneas "Modflow" del Servicio Geológico de los Estados Unidos es un ejemplo de programa informático que ha sido adoptado por grandes comunidades de profesionales, sobre todo porque su código fuente es de libre acceso.

Es fundamental, como política de buenas prácticas, mencionar explícitamente en la documentación de guía y formación las suposiciones realizadas. En algunos

Estimación del estiaje en Australia de 2012

D. Barma e I. Varley, de la Comisión Nacional del Agua, con la colaboración de otros

Objetivo y método: Recopilación de las mejores prácticas de modelación a nivel nacional para la estimación del estiaje fluvial en ríos regulados y sin regular. Modelado hidrológico, con extensión empírica a regiones con escasez de datos.

Financiación del desarrollo: Comisión Nacional del Agua, por entonces un órgano consultivo del gobierno.

Ejemplo de aplicación práctica: Recalibración de estiajes; por ejemplo, en la cuenca del Daly (Territorio del

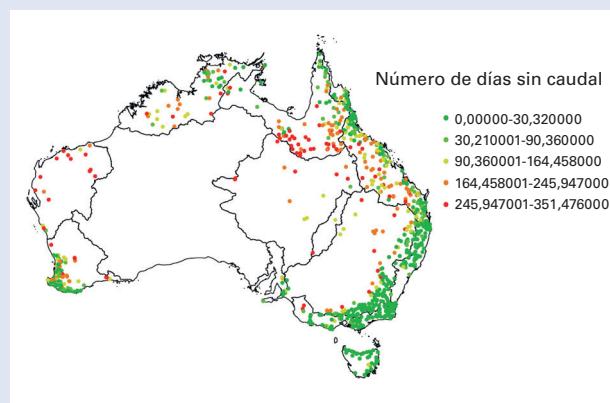


Norte), mediante el uso de un modelo combinado de superficie y aguas subterráneas.

Factores que motivaron el desarrollo: Reconocimiento por parte del gobierno de la necesidad de una predicción armonizada a escala nacional; reconocimiento de la necesidad de procedimientos de calibración coherentes para el modelado, particularmente el de los regímenes de caudales más bajos.

Factores que afectan a la transferibilidad: Sistema diseñado para una amplia aplicación por todo el conjunto de entornos australianos; los inconvenientes que pueden manifestarse son los debidos a una insuficiencia de datos, en particular los relativos a la distribución de la precipitación y a las intervenciones humanas como las extracciones para regadío.

Cuadro C



métodos pasan desapercibidas las suposiciones fundamentales cuando se examinan los resultados, de manera que las circunstancias en las que se puede aplicar el método pueden no ser obvias y podrían excederse indebidamente.

Verificación y retorno

La evaluación del uso de una técnica hidrológica aporta valiosos conocimientos para futuras aplicaciones. Una evaluación completa incluye información, tanto acerca de sus limitaciones como de sus éxitos. A pesar de lo cual, los desarrolladores y/o el personal técnico aplicado no comparten fácilmente información sobre las primeras debido a motivos comerciales o profesionales. Por otra parte, los investigadores y los técnicos de aplicaciones no siempre se relacionan plenamente. Muchos desarrolladores no son técnicos de aplicaciones, ni priorizan la difusión de su trabajo más allá de su comunidad de colegas. Del mismo modo, muchos técnicos de aplicaciones no están involucrados en las minucias del detalle teórico y metodológico.

Se dispone de evaluaciones imparciales del rendimiento y del potencial práctico de diversos métodos. Algunas de ellas están financiadas por usuarios o clientes para satisfacer una necesidad particular, mientras que otras, incluidas las de la OMM, se plantean sobre una base más amplia.

Conclusión y recomendación

Entre los numerosos métodos hidrológicos desarrollados, la adopción generalizada y la utilización operativa de un método en detrimento de otros se ve favorecida por:

- una sólida base técnica,
- robustez frente a las condiciones ambientales, en el espacio y en el tiempo,
- una iniciativa para trasladar la técnica más allá del campo de la investigación,
- la existencia de promotores para su aceptación,
- una cierta facilidad de uso,
- una buena documentación y la actualización adecuada.

Algunos de estos factores se derivan de decisiones conscientes y otros son más circunstanciales y se hallan sujetos en cierta medida a casualidades y oportunidades. El proceso no es necesaria y sencillamente determinista, ni se basa enteramente en el mérito técnico.

Se puede decir que, en comparación con la meteorología, existe una gama más amplia de enfoques metodológicos aceptables empleados en la hidrología. En meteorología hay un acuerdo general sobre el tipo preferido de formulaciones atmosféricas que forman la base de muchos productos basados en modelos de tiempo y clima y de muchos de esos modelos. Esta diferencia se debe, en parte, a la gran variación de las propiedades materiales en los dominios físicos que abarca la hidrología y, en parte, a la variedad de problemas hidrológicos abordados, incluyendo la diversidad de actuaciones y modificaciones llevadas a cabo por el ser humano sobre el ciclo hidrológico. Esta circunstancia puede potenciar el grado de competencia entre métodos alternativos en muchas aplicaciones hidrológicas, lo que contribuye al debate de si se debe impulsar la convergencia hacia un pequeño núcleo de técnicas hidrológicas "normalizadas" o si se prefiere la proliferación de una amplia gama de procedimientos alternativos.

Con independencia de la técnica utilizada, es muy recomendable que se especifique el grado de aplicabilidad del método hidrológico desarrollado y/o utilizado y que esta evaluación se actualice a medida que, con el uso práctico, se vaya acumulando experiencia. La mayoría de los proyectos de investigación aplicada y de las aplicaciones hidrológicas prácticas deberían incorporar esto a sus informes, en beneficio de toda la comunidad hidrológica y para mejorar la prestación futura de una hidrología eficaz.

Agradecimientos

Deseo expresar mi agradecimiento a Bruce Stewart (exdirector del Departamento del Clima y del Agua de la OMM) por las discusiones preliminares y al equipo editorial de la OMM.

Las iniciativas sociales y económicas, junto con las cuestiones técnicas, constituyen influencias significativas.