

Hacia la capacidad de predicción global de crecidas

por D.P. Lettenmaier¹, A. de Roo² y R. Lawford³

Las actividades de la OMM relacionadas con las crecidas se dirigen a aplicar técnicas de modelización hidrológica y predicción, enfoques de evaluación de riesgos y de gestión integrada de crecidas para reducir los desastres relacionados con las inundaciones maximizando los efectos beneficiosos de las mismas. Esto incluye, por un lado, la revisión de los requisitos operativos para predicciones y alertas y, por otro, mantenerse al día con los nuevos desarrollos tecnológicos tales como el desarrollo y promoción de los sistemas integrados de observación terrestre y por satélite.

Cada vez se llevan a cabo más esfuerzos para posibilitar que los Servicios Hidrológicos Nacionales se extiendan a las comunidades en el suministro de unas predicciones de crecidas que sean oportunas, más exactas y significativas. Esto requiere también un importante esfuerzo de investigación y una mayor colaboración adicional entre los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos, lo que dará como resultado una mejora significativa de los sistemas de alerta de crecidas e información valiosa para la gestión de desastres.

Las inundaciones constituyen una amenaza natural generalizada. Según el Servicio Meteorológico Nacional de los EEUU, el coste

medio anual de las inundaciones en los EEUU desde 1990 a 2004 fue de 6 100 millones de \$ EEUU (dólares de 2004). Un estudio reciente de la Universidad de las Naciones Unidas muestra que las inundaciones afectan a más de 500 millones de personas cada año en todo el mundo, de las cuales un número desproporcionado vive en Asia (el 44% de todos los desastres por inundaciones en el mundo y el 93% de las muertes relacionadas con inundaciones en la década de 1988-1997). Según un informe de 2003 del Consejo Mundial del Agua, las pérdidas por inundaciones y sequías aumentaron globalmente diez veces (con la inflación corregida) durante la segunda mitad del siglo XX, hasta un total de aproximadamente 300 000 millones de \$ EEUU en la década de 1990.

Este aumento de las pérdidas ocurrió tanto como resultado de un incremento del número de episodios como de unas mayores pérdidas por episodio. La primera causa puede ser climática —se espera que una aceleración del ciclo hidrológico mundial conduzca a más extremos hidrológicos— aunque Pielke y otros (2000) descubrieron que la mayor parte del aumento de las pérdidas económicas debidas a inundaciones estaba asociado a un aumento general de la riqueza, lo que hace que las sociedades sean más sensibles ante los extremos climáticos.

A pesar de la gravedad de las consecuencias socioeconómicas de las crecidas, no existe actualmente un sistema mundial para su predicción, ni siquiera para una identificación coherente de los episodios de crecida. Los países más desarrollados tienen sistemas de predicción de crecidas razonablemente sofisticados que están basados en una combinación de informes en tiempo real de precipitaciones extremas y de otras variables meteorológicas de superficie obtenidos a partir de observaciones sobre el terreno, por radar (y, en algunos casos, por sistemas de satélites) y mediante modelización. Sin embargo, tal sofisticación no es extensible al mundo en vías de desarrollo. Por ejemplo, en las inundaciones que sufrió Mozambique en 2000, solamente un puñado de estaciones pluviométricas del país informaban al Sistema de Telecomunicación Global de la OMM: un número que habría hecho impracticable la ejecución de la modelización predictiva utilizada en la mayoría de los sistemas de predicción de crecidas del mundo desarrollado.

Como alternativa a los sistemas de predicción de crecidas basados principalmente en las observaciones sobre el terreno, creemos que los avances en la modelización hidrológica a gran escala, la teledetección y la asimilación de datos hacen ahora posible desarrollar un sistema mundial de previsión inmediata y de predicción de crecidas. Mediante los avances en los métodos de asimilación de datos terrestres (por ejemplo, el Sistema de Asimilación de Datos en la Superficie Terrestre de América del Norte (N-LDAS)

1 Departamento de Ingeniería Civil y Medioambiental de la Universidad de Washington, Seattle, WA (EEUU)

2 DG del Centro Común de Investigaciones de la Comisión Europea en Ispra (Italia)

3 Oficina Internacional del Proyecto GEWEX, Silver Spring, MD (EEUU)

(véase Mitchell y otros, 2004) y un esfuerzo europeo similar, el E-LDAS (véase Van den Hurk, 2002)), se ha puesto de manifiesto la capacidad de los modelos de superficie terrestre para producir estimaciones significativas de las condiciones hidrológicas superficiales a lo largo de grandes áreas (humedad del suelo, extensión y equivalente en agua de la capa de nieve, flujo de corriente). Sin embargo, hasta la fecha, el centro de estas actividades ha estado principalmente en mejorar las condiciones iniciales para las variables de estado en la superficie terrestre que se utilizan en la predicción meteorológica.

Creemos que existe el potencial de apoyarse en la experiencia de N-LDAS y E-LDAS para producir mundialmente previsiones a muy corto plazo y predicciones por conjuntos de las condiciones de crecida. Las predicciones se llevarían a cabo difundiendo hacia adelante en el tiempo unas previsiones a muy corto plazo similares a las generadas por los esfuerzos del LDAS (tras la asimilación, en el momento de la predicción de los conjuntos de datos seleccionados obtenidos por satélite y sobre el terreno, que podrían incluir la extensión de la capa de nieve, el equivalente en agua de la nieve, la humedad del suelo superficial y posiblemente la temperatura superficial (exterior)), utilizando métodos de predicción por conjuntos ligados tanto a modelos de predicción meteorológica como climática a un plazo próximo (máximo de aproximadamente 15 días). Describiremos brevemente los esfuerzos tanto en EEUU como en Europa que utilizan predicciones climáticas a corto plazo y meteorológicas a medio plazo de precipitaciones y otras variables de la superficie terrestre para impulsar modelos hidrológicos, y subrayaremos algunas ideas sobre cómo dichos enfoques pueden generalizarse a nivel mundial.

Para las cuencas de los grandes ríos, la precisión en las predicciones de crecidas depende de una combinación de (a) la capacidad de predecir con acierto el movimiento del agua a través del sistema de canales, (b) la facultad de convertir las precipitaciones y otras condiciones meteorológicas que afectan a la

superficie en escorrentía que penetra en el sistema de canales, y (c) la exactitud con la que pueden predecirse las condiciones meteorológicas durante el período de predicción. La importancia relativa de estas tres contribuciones a la precisión en la predicción de crecidas depende de una serie de factores, entre los que se incluyen la geometría y el tamaño de la red fluvial, el número y localización de los puntos de medida de la corriente, las condiciones hidrológicas precedentes (incluyendo, sobre todo, la humedad del suelo y las condiciones de la nieve, si son relevantes) y los factores que influyen en la respuesta hidrológica de la cuenca fluvial (por ejemplo, suelos, topografía, vegetación y geología). De estos factores, la humedad precedente del suelo y las condiciones hidrodinámicas del río son las más dinámicas y, por tanto, están sujetas a observación y/o predicción. Discutiremos brevemente las estrategias que resultan adecuadas para utilizar información tanto en los actuales escenarios de modelización como en los potenciales del futuro.

Describimos aquí las primeras experiencias con dos sistemas de predicción en tiempo real diseñados para su aplicación a grandes áreas y para la entrada de fuentes de datos hidrológicos que a menudo no se emplean en la predicción hidrológica operativa. El Sistema de Predicción Hidrológica Westwide de la Universidad de Washington

(Wood y Lettenmaier, 2006) está diseñado principalmente para generar predicciones hidrológicas estacionales en el oeste de los EEUU, pero se ha ejecutado para períodos de validez tan cortos como dos semanas.

La Figura 1 representa, de forma conceptual, cómo funciona el sistema y la Figura 2 muestra el dominio del sistema de predicción. El modelo se procesa en el momento de la predicción utilizando observaciones reticulares de precipitación y temperatura y otros forzamientos radiativos y meteorológicos de superficie que en la práctica se obtienen a partir de la precipitación y la temperatura. En el momento de la predicción, las variables hidrológicas de estado (en particular, el equivalente en agua de la nieve y la extensión de la capa de nieve, ambas variables clave que controlan la producción de escorrentía en gran parte de los EEUU occidentales) se actualizan utilizando observaciones sobre el terreno y/o procedentes de dispositivos de teledetección. El modelo se fuerza después durante el período de predicción introduciendo la precipitación, la temperatura del aire en superficie y el resto de variables citadas con anterioridad, que se toman a partir de nuevas muestras de las observaciones históricas (usando métodos descritos en Twedt y otros, 1977) o a partir de predicciones climáticas por conjun-

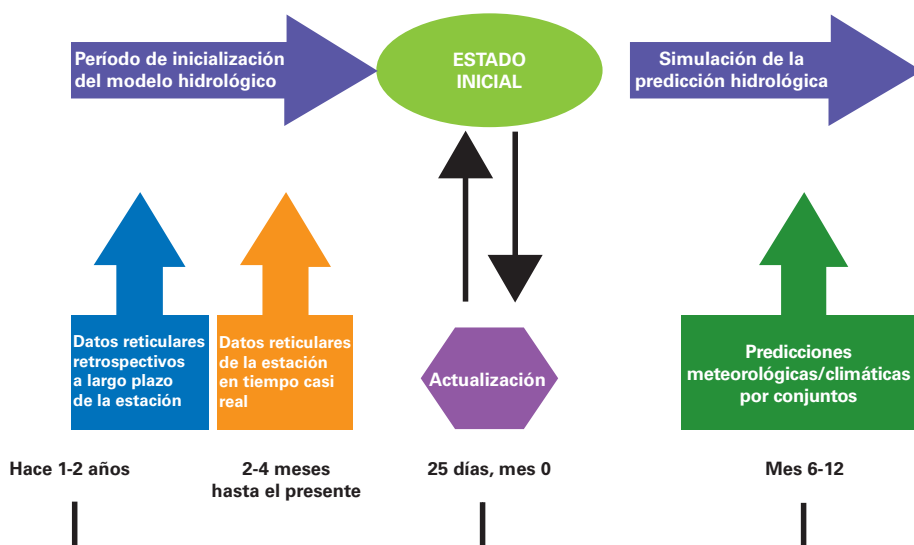


Figura 1 — Esquema del sistema Westwide de la Universidad de Washington que muestra las fuentes de datos del período previo, la actualización de las variables de estado y los impulsores de la predicción

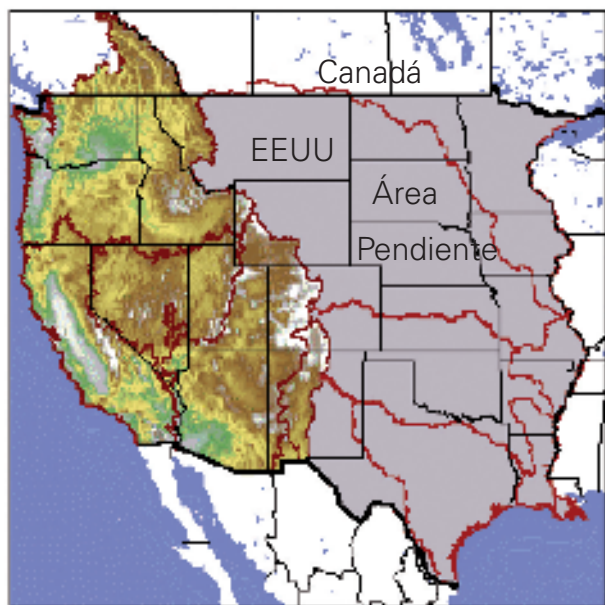


Figura 2 — Dominio del Sistema de Predicción Hidrológica Westwide de la Universidad de Washington

tos (a escala reducida y corrigiendo el sesgo, empleando métodos descritos por Wood y otros (2004)). Como parte del procedimiento de predicción, se generan predicciones inmediatas de la humedad del suelo (a múltiples profundidades), del equivalente en agua de la nieve, de la escorrentía y de otras variables hidrológicas en función de su distribución espacial, junto con predicciones por conjuntos del flujo de corriente en aproximadamente 100 puntos de predicción a lo largo del oeste de los EEUU.

Un aspecto importante del sistema de la Universidad de Washington es que se pretende que sirva como banco de pruebas para evaluar, en una configuración cuasioperativa, métodos de predicción nuevos y en evolución. Es clave entre estos la asimilación de datos que, aunque ampliamente usada en la predicción meteorológica y climática, sólo acaba de empezar a evolucionar en hidrología como herramienta operativa.

McGuire y otros (2006) describen la experiencia en el tramo del río Snake del dominio de predicción de los EEUU occidentales en el que se actualizaban las predicciones a dos semanas utilizando un producto de medida de la extensión de la capa de nieve (SCA) por teledetección (MODIS). Tal y como se describe en McGuire y otros (2006), cuando el producto SCA MODIS mostraba ausencia de nieve, allí donde el modelo la preveía en el momento de la predicción, se actualizaba el

equivalente en agua de la nieve (SWE) del modelo poniendo el SWE a cero. En las localizaciones donde el SCA MODIS mostró nieve no simulada por el modelo, se añadió una (pequeña) cantidad de SWE al mismo. Este ajuste se llevó a cabo junto con una actualización del SWE mediante el uso de observaciones puntuales de la red NRCS SNOTEL de almohadas de nieve según un procedimiento descrito en Wood y Lettenmaier (2006). McGuire y otros (2006) ponen de relieve que la actualización de MODIS reducía, por lo general, los errores absolutos medios de las predicciones de flujo de corriente a dos semanas en la cuenca del río Snake.

El Centro Común de Investigaciones de la Comisión Europea es responsable del funcionamiento del Sistema Europeo de Alerta por Crecidas (EFAS) (De Roo y otros, 2003), que pretende demostrar el potencial de las predicciones de crecidas para un plazo más largo (normalmente de tres a cuatro días y más) que el de las emitidas de forma operativa por las agencias nacionales de predicción de Europa. El EFAS comparte ciertas similitudes con el sistema Westwide de la Universidad de Washington descrito anteriormente: en particular, utiliza predicciones meteorológicas por conjuntos para el medio plazo (en lugar de las predicciones climáticas por conjuntos en el caso del sistema Westwide), y está basado en un modelo hidrológico macroescalar de vanguardia.

El modelo hidrológico principal del EFAS es el LISFLOOD (De Roo y otros, 2000; 2002), un modelo de atmósfera terrestre que tiene una construcción global algo similar a la del modelo de Capacidad de Infiltración Variable (VIC). El LISFLOOD simula escorrentía e inundación en cuencas de ríos grandes como consecuencia de lluvias extremas. Se trata de un modelo de lluvia y escorrentía distribuido espacialmente que tiene en cuenta la influencia de la topografía, las cantidades e intensidades de la precipitación, el anterior contenido de humedad del suelo, el tipo de



(Foto: cortesía de Branislav Lučić)

Inundaciones en Jaša Tomić, Vojvodina, Serbia, abril de 2005

uso de la tierra y el tipo de suelo. El LISFLOOD simula episodios de crecida o se procesa continuamente en cuencas hidrográficas usando diversos tamaños de rejilla (de 1 km ó menor hasta 5 km) y con pasos temporales (con intervalos de 1 hora (o menos) a 1 día). La del río Danubio es una de las cuencas hidrográficas piloto para el EFAS y la experiencia de este río resulta instructiva respecto a los temas y oportunidades que ofrecen las predicciones coordinadas de crecidas para grandes áreas. El Danubio tiene un área hidrográfica de aproximadamente 800 000 km², repartida por 18 países. Es el segundo río más largo de Europa y el 19º más largo del mundo. El caudal medio cerca de la desembocadura en Galați (Rumanía) es de 5 600 m³/s y el máximo de avenida en 100 años es de aproximadamente 16 000 m³/s.

El LISFLOOD se ha ejecutado en la cuenca del Danubio con una resolución espacial de 5 km (que se está aumentando actualmente a 1 km en parte de la cuenca). Conceptualmente, el uso de LISFLOOD con fines de predicción de crecidas es similar a la configuración de VIC mostrada en la Figura 1, en la que el modelo se procesa en el momento de la predicción con observaciones reticulares que se obtienen en tiempo casi real. Los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales y las administraciones del agua de 14 de los 18 países de la cuenca danubiana informan en tiempo real de las observaciones del modelo clave que exigen las variables precipitación y temperatura. El gran número de autoridades responsables de la recogida de datos y de su difusión por diversas partes de la cuenca del Danubio supone una característica compleja en el ámbito de la aplicación del modelo en esos lugares en tiempo real: ha sido necesario poner en contacto a más de 50 administraciones. Además, la experiencia ha demostrado que los datos suministrados son habitualmente muy distintos en cuanto al formato y contenido de los respectivos ficheros; algunos datos no están disponibles en formato digital en absoluto, lo que conduce a la necesidad de llevar a cabo un esfuerzo sustancial para asegurar la calidad de los datos en tiempo casi real.

El modelo está siendo probado por parte del personal del Centro Común de Investigaciones (JRC) trabajando con expertos nacionales de Austria, la República Checa, Alemania, Hungría y Eslovaquia. La calibración y validación, usando observaciones retrospectivas, están en proceso o se han completado en los ríos Danubio superior, Morava, Sava superior, Hron, Drava y Tisza con una resolución espacial de 1 km. En el verano de 2006 comenzará el ensayo en tiempo real de una ejecución del modelo con una resolución de 1 km para el Danubio (actualmente 5 km).

Un aspecto clave del EFAS que resulta atractivo para su ejecución en cualquier otro sitio (véase la discusión siguiente) es el uso de datos impuestos por las predicciones del Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Medio Plazo (CEPMMP). Actualmente, el EFAS usa predicciones deterministas del CEPMMP a 10 días (con una resolución espacial de 40 km), así como el Sistema de Predicción por Conjuntos del CEPMMP (EPS), constituidos por 51 miembros por conjunto. Las inundaciones de

primavera de 2006 en el Danubio superior y en la cuenca del Elba ofrecen un interesante estudio de caso para el potencial de las predicciones de crecida a medio plazo.

La Figura 3 muestra una secuencia de predicciones por conjuntos para 10 días para el río Moldava superior de la República Checa (con una cuenca hidrográfica aguas arriba de 2 550 km²), un afluente del río Elba. La figura pone de manifiesto que, ya el 20 de marzo de 2006, 31 miembros de las 51 predicciones (EPS) (comparable a un 60% de probabilidad) predecían niveles de agua superiores al nivel de alerta alta para el 29 de marzo. De hecho, los días 28 y 29 de marzo empezaron las crecidas, que llevaron después a problemas aguas abajo en los ríos Elba y Danubio. A medida que pasaba el tiempo, la señal se hizo más fuerte, permitiendo al equipo de EFAS enviar una alerta temprana por crecida a las autoridades checas el 23 de marzo.

Aunque tanto los sistemas Westside de la Universidad de Washington como el EFAS del JRC se están ensayando en regiones que disponen

Día predicho	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
2006032000								1	20	31								
2006032012								5	19	31								
2006032100									12	35	42							
2006032112								4	28	41	43							
2006032200									21	46	48	49						
2006032212								4	35	43	44	44						
2006032300								1	13	44	47	49	44					
2006032312								2	35	49	49	50	50					
2006032400									12	45	49	49	51	49				
2006032412									27	50	49	51	49	47				
2006032500								4	51	51	51	51	51	51	51			
2006032512									47	51	51	51	51	51	51	51		
2006032600								3	51	51	51	51	51	51	51	51		
2006032612									38	51	51	51	51	51	51	51		
2006032700										51	51	51	51	51	51	51	51	
2006032712								3	4	7	7	40	41	40	26	37		
2006032800									51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
2006032812									MV	MV	MV	MV	MV	MV	MV	MV	MV	MV

Figura 3 — Secuencia de alerta de predicción para el río Moldava superior (afluente del río Elba) que empieza el 20 de marzo de 2006 con incrementos de 12 horas para períodos de validez de 1 a 10 días. Los números de las casillas indican el número de miembros del conjunto (de 51) para los que se predijo una crecida.

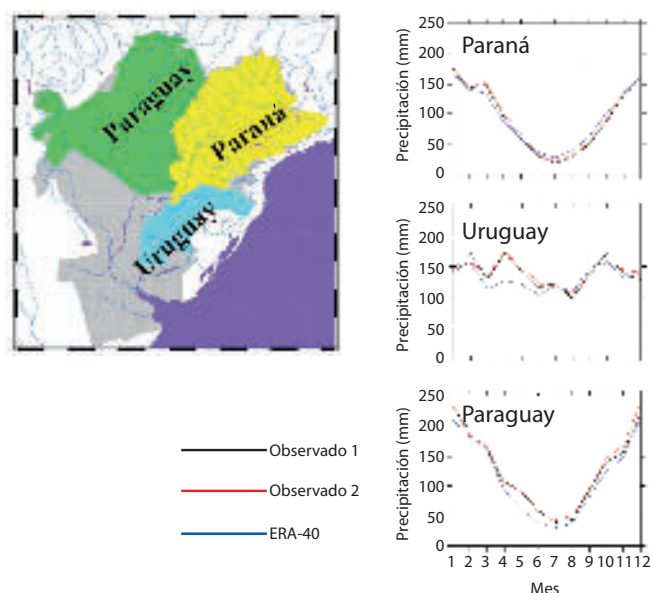
de redes de datos in situ razonablemente buenas, creemos que existe un considerable potencial para su aplicación en zonas menos desarrolladas del mundo, donde las observaciones pluviométricas sobre el terreno son escasas. En los casos donde exista la necesidad de plazos de predicción que superen el tiempo típico de viaje por el sistema de canales, resulta crítico disponer de una estimación precisa de las condiciones hidrológicas iniciales, y los métodos actualmente más viables se basan en una simulación continua que, a su vez, requiere conocer con exactitud las precipitaciones durante el período previo (véase la Figura 1).

Además de las observaciones sobre el terreno en regiones con pocos datos, existen dos opciones fundamentales: realizar estimaciones por satélite de la precipitación y obtener campos de análisis a partir de modelos numéricos de predicción meteorológica. Está en curso un gran esfuerzo en ambas áreas, cuya revisión va más allá del alcance de este artículo. Sin embargo, resulta alentadora la información extraída de fuentes de datos tales como el reanálisis ERA-40 del CEPMM (reanálisis 40 del CEPMM) (producido mediante reprocesamientos de una versión "congelada" del modelo de predicción meteorológica, usando métodos novedosos de asimilación de datos).

La Figura 4 muestra las medias de las precipitaciones estacionales a largo plazo promediadas en los dos afluentes principales del Río de La Plata de América del Sur en comparación con las observaciones de la red. Con respecto a la media, los resultados obtenidos por las estimaciones de ERA-40 (que son independientes de las observaciones, pues ERA-40 no asimila la precipitación), están notablemente próximos. Exámenes adicionales (las figuras no se muestran aquí) revelan que hay diferencias entre las dos fuentes de datos en términos de distribución espacial, pero los resultados son a pesar de ello alentadores.

Las observaciones por satélite del nivel del agua de la superficie constituyen otra fuente de datos en

*Figura 4 —
Precipitaciones
mensuales medias
obtenidas por ERA-
40 y observadas (a
partir de datos de
estaciones de la red)
para los afluentes
Uruguay, Paraná y
Paraguay del Río
de la Plata, 1979-99
(cortesía de Fengge
Su, Universidad de
Washington)*



evolución que facilitará mundialmente la predicción de crecidas. Los altímetros de los satélites se han utilizado desde la década de 1980 para determinar los niveles del océano. En general, la tecnología y los algoritmos de proceso de datos se han centrado sobre todo en la precisión vertical a expensas de la resolución espacial, de modo que dichas observaciones han sido útiles únicamente para masas de agua muy grandes. Sin embargo, tal y como muestran Alsdorf y otros (2004), ahora se puede realizar la altimetría de ángulo de barrido, capaz de producir estimaciones de elevaciones del agua de la superficie con una precisión de unos pocos centímetros en la vertical promediada en menos de 1 km² de área superficial, y que es objeto de planificación continua tanto en Europa como en EEUU. Pueden imaginarse fácilmente sistemas de asimilación de datos en los que los modelos hidrológicos, forzados por los campos de análisis de predicción numérica del tiempo, proporcionen restricciones al modelo hidráulico de río que se actualiza para generar estimaciones del caudal en tiempo real mediante la asimilación de los perfiles del agua de la superficie observados por satélite y que, a su vez, se fuerza con secuencias meteorológicas y climáticas por conjuntos hacia adelante en el período de predicción. Dichas estrategias se facilitarían en gran medida mediante enfoques de predicción

centralizados, que podrían dedicar los recursos que fueran necesarios al manejo de datos masivos, el control de calidad y la simulación por conjuntos.

Los dos proyectos descritos en este artículo contribuyen a desarrollar sistemas de predicción hidrológica macroescalar distribuidos y se basan en predicciones por conjuntos que emplean técnicas que se están desarrollando en el Experimento de Predicción Hidrológica por Conjuntos ((HEPEX), Franz y otros, 2005). Según se describió en Soroosh y otros (2005), muchas de estas actividades están siendo coordinadas por el Experimento Mundial sobre la Energía y el Ciclo Hídrico (GEWEX), proyecto del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (copatrocinado por la OMM, la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO y el Consejo Internacional para la Ciencia).

Aunque el GEWEX se ha centrado en el desarrollo de estos sistemas, no se han dirigido las aplicaciones de estas herramientas específicamente hacia la predicción de crecidas. Sin embargo, se prevé que a medida que la comunidad climática concentre una mayor atención en el tema de los extremos, el GEWEX y otros programas hidrológicos de investigación y observación dedicarán más esfuerzos al desarrollo de sistemas mundiales de predicción y vigilancia de las crecidas.

Referencias

- ALS DORF, D., D.P. LETTENMAIER y C.V. VOROSMARTY, 2003: The need for global, satellite-based observations of terrestrial surface waters, EOS, *Transactions of the American Geophysical Union*, 84, No. 29.
- DE ROO, A.P.J., C.G. WESSELING y W.P.A. VAN DEURSEN, 2000: Physically-based river basin modelling within a GIS: the LISFLOOD model. *Hydrological Processes*, 14, 1981-1992.
- DE ROO, A.P.J., J. THIELEN y B. GOUWEELEEUW, 2002: LISFLOOD, a distributed water balance, flood simulation and flood inundation model. User Manual. Version 1.0. Report of the European Commission, Joint Research Centre, Special Publications No. I.02.131.
- DE ROO, A.P.J., B. GOUWEELEEUW, J. THIELEN, P. BATES, A. HOLLINGSWORTH, *et al.*, 2003: Development of a European flood forecasting system. *International Journal of River Basin Management*, 1, 49-59.
- FRANZ, K., N. AJAMI y J.C. SCHAAKE, Jr., 2005: Hydrologic Ensemble Prediction Experiment focuses on reliable forecasts, EOS, *Transactions of the American Geophysical Union*, 86, 239.
- MCGUIRE, M., A.W. WOOD, A.F. HAMLET y D.P. LETTENMAIER, 2006: Use of satellite data for streamflow and reservoir storage forecasts in the Snake River Basin, ID. *J. Water Res. Planning and Mgt.*, ASCE, 132, 97-110.
- MITCHELL, K.E., D. LOHMANN, P.R. HOUSER, E.F. WOOD, J.C. SCHAAKE, A. ROBOCK, B.A. COSGROVE, J. SHEFFIELD, Q. DUAN, L. LUO, R.W. HIGGINS, R.T. PINKER, J.D. TARPLEY, D.P. LETTENMAIER, C.H. MARSHALL, J.K. ENTIN, M. PAN, W. SHI, V. KOREN, J. MENG, B.H. RAMSAY y A.A. BAILEY, 2004: The multi-institution North American Land Data Assimilation System (NLDAS): Utilizing multiple GCIP products and partners in a continental distributed hydrological modeling system. *J. Geophys. Res.*, 109, rt. No. D07S9010.1029/2003JD003823.
- OMM, 2006: Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2005. OMM n° 998, Ginebra.
- PIELKE, R.A., Jr. y M. DOWNTON, 2000: Precipitation and damaging floods: Trends in the United States 1932-97. *J. Climate*, 13, 3625-3637.
- SOROOSHIAN, S., R. LAW FORD, P. TRY, W. ROSSOW, J. ROADS, J. POLCHER, G. SOMMERIA y R. SCHIFFER, 2005: Investigación de los vínculos entre el ciclo hídrico y el ciclo energético. *Boletín de la OMM* 54, 2, 58-64.
- TWEDT, T.M., J.C. SCHAAKE y E.L. PECK, 1977: National Weather Service Extended Streamflow Prediction. *Proc. Western Snow Conf.*, Albuquerque, Nuevo México.
- VAN DEN HURK, B., 2002: European LDAS established. *GEWEX News*, 12/2, 9-9.
- WOOD, A.W., L.R. LEUNG, V. SRIDHAR y D.P. LETTENMAIER, 2004: Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs. *Climate Change*, 62, 189-216.