

Descripción general del Sistema Guía para Crecidas Repentinas con cobertura mundial y su aplicación en todo el mundo

por Konstantine P. Georgakakos, director del Centro de investigación hidrológica

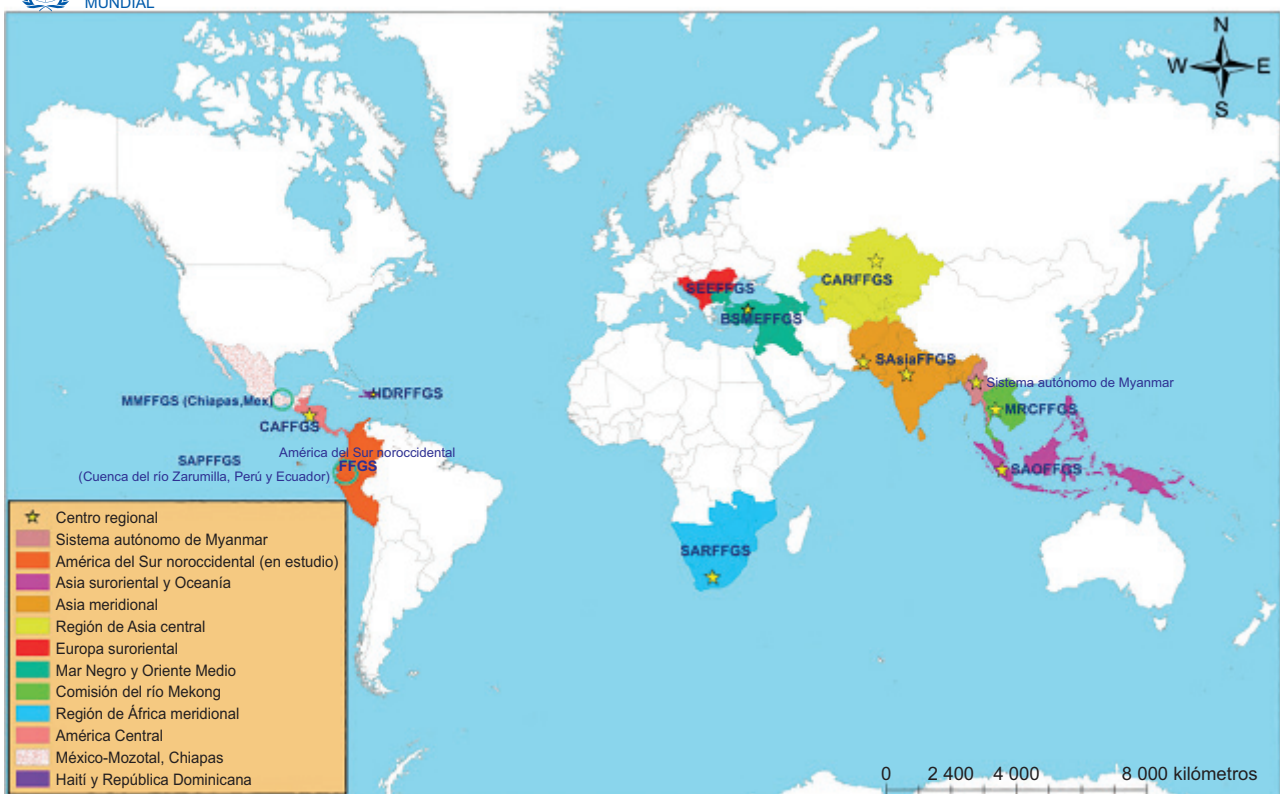
El objetivo principal del Sistema Guía para Crecidas Repentinas con cobertura mundial es ofrecer productos de orientación en tiempo real a predictores de todo el mundo. Estos productos reflejan, en alta resolución, la amenaza de posibles inundaciones repentinas a pequeña escala en grandes regiones. El sistema proporciona los productos necesarios para apoyar el desarrollo de avisos de crecidas repentinas a causa de las precipitaciones, y utiliza datos *in situ* y de teledetección en tiempo real, modelos hidrológicos numéricos de la superficie terrestre distribuidos espacialmente y modelos mesoescalares de predicción numérica del tiempo.

El Sistema Guía para Crecidas Repentinas con cobertura mundial consta de varios sistemas regionales (los denominados Sistema Guía para Crecidas Repentinas) que permiten la incorporación de información local en los productos del sistema y el desarrollo de la cooperación regional en la predicción hidrometeorológica. Se han completado seis sistemas regionales: Mar Negro y Oriente Medio, América Central, Región de Asia central, Comisión del río Mekong, Región de África meridional y Europa suroriental, que han entrado en pleno funcionamiento y abarcan 41 países. Cuatro más (Haití y República Dominicana, Asia meridional, sureste asiático, y Asia suroriental y



ORGANIZACIÓN
METEOROLÓGICA
MUNDIAL

COBERTURA MUNDIAL DEL SISTEMA GUÍA PARA CRECIDAS REPENTINAS



Oceanía) están en proceso de implantación y abarcan otros 17 países. Se están diseñando dos sistemas más: uno de ellos es un sistema autónomo para un país individual, mientras que el otro es para el noroeste de América del Sur (como consecuencia de la aplicación piloto llevada a cabo en la cuenca del río Zarumilla), que probablemente incluirá a tres países y que ya se puso en marcha con éxito a escala subnacional.

La información en tiempo real sobre la precipitación se obtiene mediante instrumentos de medida ajustados y por estimaciones de la precipitación a partir de datos de satélite y, cuando es posible, también de radar. El sistema se complementa a través de un amplio programa de formación profesional diseñado para permitir que el predictor ajuste los productos en tiempo real en función de la experiencia del lugar y de la información local de última hora. Este esquema tiene como objetivo reducir la pérdida de vidas y el sufrimiento humano a causa de la devastación causada por las crecidas repentinas, y es coherente con un proceso de respuesta continuo basado en la predicción.

Para demostrar la utilidad de los productos del Sistema Guía para Crecidas Repentinas con cobertura mundial, imagínese la situación hipotética de un predictor de servicio en Panamá que comienza su turno a las 13 h (hora estándar local) del 21 de noviembre de 2015 y al que se le ha informado de que ha estado lloviendo en el oeste de Panamá. La primera pregunta que probablemente se haga el predictor es: "¿cuál es el pronóstico de lluvia para las próximas 6 horas?". En ese momento, el Sistema Guía para Crecidas Repentinas, basado en el modelo mesoescalar de predicción numérica del tiempo denominado "Weather Research and Forecast", muestra la precipitación prevista para la región (figura 1a).

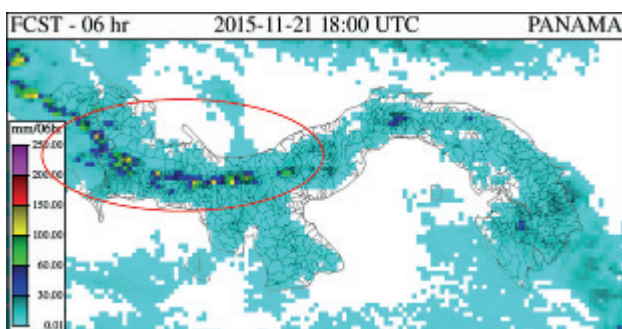


Figura 1a. Precipitación prevista para Panamá según el Sistema Guía para Crecidas Repentinas de América Central

El predictor estima que en la región montañosa occidental de Panamá habrá precipitaciones importantes durante las próximas 6 horas, que superarán los 100 mm en ese período en algunas zonas. Al observar en los registros de los

predictores operativos que ya ha habido precipitaciones en esa misma región, al predictor en cuestión le gustaría saber el nivel de saturación actual de la capa superior del suelo. El déficit hídrico en esta última proporciona efectos amortiguadores contra la producción de escorrentía superficial en forma de inundación repentina que surge a causa de la lluvia futura. Teniendo en cuenta el componente del Sistema Guía para Crecidas Repentinas con cobertura mundial que cubre la región de América Central, el predictor ve niveles de saturación de 1, o próximos a 1, en las capas superiores del suelo de una parte muy significativa del oeste de Panamá (figura 1b). En consecuencia, hay una capacidad de amortiguación muy pequeña para absorber la precipitación prevista en las próximas 6 horas, lo cual es motivo de preocupación.

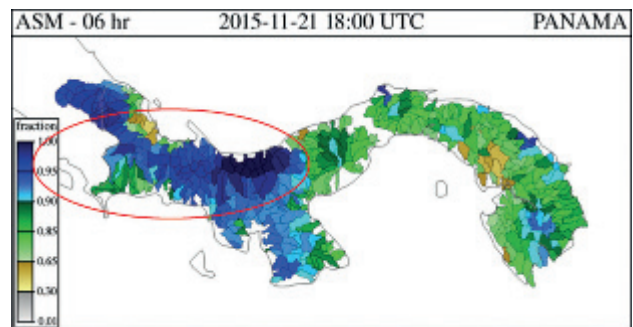


Figura 1b. Fracción de saturación de la capa superior del suelo de las pequeñas cuencas de Panamá según el Sistema Guía para Crecidas Repentinas de América Central

La siguiente pregunta probable en la mente del predictor es: "¿qué áreas específicas experimentarán crecidas repentinas?" Usando el índice de amenaza de crecida repentina según el Sistema Guía (figura 1c), el predictor observa que varias cuencas muestran valores altos del citado índice (es decir, valores que superan lo que se considera como un rango normal en la variabilidad del índice, que aparece en la parte amarilla de su escala).

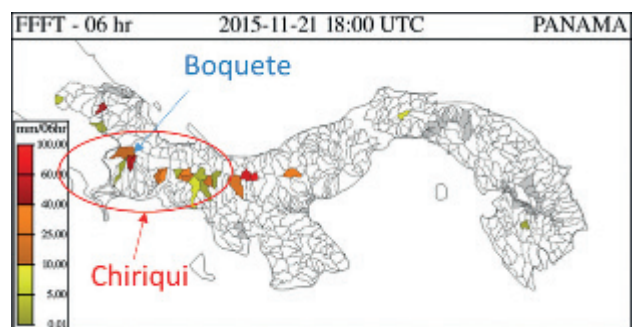


Figura 1c. Índice de amenaza de crecida repentina en las pequeñas cuencas de Panamá según el Sistema Guía para Crecidas Repentinas de América Central

El predictor se pone en contacto posteriormente con los responsables locales de las zonas con alta amenaza (ya sea el Servicio Meteorológico de Panamá o las agencias panameñas de gestión de desastres) para validar las estimaciones que el sistema hace de la saturación del suelo y de la precipitación precedente. El predictor evalúa también los pronósticos de lluvia para ajustar los productos del Sistema Guía para Crecidas Repentinas antes de decidir si emite un aviso para las zonas de amenaza elevada. En este caso, si el hipotético predictor emitió un aviso, se habría verificado correctamente por lo que realmente sucedió.

Fundamentos del diseño

La OMM y la Sociedad Meteorológica de los Estados Unidos de América ofrecen definiciones de crecidas repentinas que destacan sus características en cuanto a tiempos de respuesta cortos y escalas espaciales pequeñas. Esto implica que para alcanzar un plazo de anticipación que permita dar una respuesta eficaz a este peligro, se necesitan predicciones meteorológicas de lluvia y predicciones hidrológicas –y en pequeñas escalas– del agua en el suelo y de los déficits de caudal de cauce lleno en las corrientes. Además, la información y los datos locales de última hora son muy útiles para emitir avisos locales de crecida repentina.

Como respuesta al reconocimiento de que las crecidas repentinas constituyen asesinos prodigiosos de los que no existían avisos fiables para ellos en muchos países, se creó la Iniciativa mundial para las crecidas repentinas con el objetivo de apoyar a los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) de todo el mundo en la prestación de avisos fiables y eficaces de crecidas repentinas y en la mejora de la eficiencia en la gestión de desastres. Con la participación de la OMM, la Oficina de Asistencia para Desastres en el Extranjero (OFDA) de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera (NOAA) y el Centro de investigación hidrológica (CIH), la iniciativa centra su atención en las regiones de todo el mundo propensas a sufrir crecidas repentinas, especialmente en los países que cuentan con un número escaso de observaciones en tiempo real.

En cada región, los países participantes han designado un centro regional con prestaciones bien desarrolladas en materia de computación y comunicaciones. Las instalaciones de comunicación de datos y computación de los centros regionales se utilizan para alojar los ordenadores del Sistema Guía para Crecidas Repentinas, que proporcionan sitios de Internet seguros para difundir información y productos a los SMHN de cada uno de los países. En las regiones y en el CIH se celebran cursos en línea extensos y actividades prácticas de capacitación que facilitan que los predictores

de cada país puedan utilizar de manera eficaz los productos del sistema y también desarrollar habilidades para hacer ajustes en tiempo real cuando sea necesario. Para conseguir este grado de ejecución del sistema en cada región, los centros regionales y los organismos de predicción nacionales participan de los componentes de computación y de gestión de datos, cuyo diseño es tal que puede acomodar datos mundiales, regionales y locales a través del sistema computacional así como permitir ajustes internos en cada país por parte de sus predictores antes de emitir avisos.

Los servidores computacionales que realizan la ingestión de datos, el control de calidad y el proceso del modelo se alojan en los centros regionales donde la infraestructura de comunicaciones es suficiente para gestionar las necesidades. Los predictores nacionales acceden al servidor de difusión del Sistema Guía para Crecidas Repentinas del centro regional a través de conexiones seguras a Internet para difundir el producto y, después de realizar los ajustes necesarios utilizando datos e información locales, ofrecen avisos a las agencias de respuesta nacionales: agencias de gestión de desastres, protección civil, etc. Este enfoque crea un paradigma general donde el sistema regional consta de un núcleo computacional del centro regional y un núcleo de ajustes y avisos internos para cada país.

El término de referencia “Guía para Crecidas Repentinas”, utilizado para la implantación del Sistema Guía para Crecidas Repentinas con cobertura mundial, se refiere a un concepto de umbral de precipitación coherente con los conceptos tradicionales de la predicción meteorológica asociados a los episodios de lluvia intensa. De acuerdo con este concepto tradicional de superación de la cantidad de lluvia, se emite un aviso cuando la precipitación prevista se sitúa por encima de un cierto valor fijo de lluvia fuerte que se selecciona en base a la experiencia o a partir del historial de modo que represente un límite inferior para las cantidades susceptibles de causar daños significativos. El valor adicional de esta Guía proviene del hecho de que no se trata de un umbral de lluvia fijo, sino que es un umbral de lluvia que varía en el tiempo y que está basado en la evolución del comportamiento tanto del déficit hídrico del suelo como del almacenamiento del caudal (en el cauce sin llenar) de las corrientes de la pequeña cuenca en cuestión, propensa a crecidas repentinas. Por lo tanto, en caso de alta saturación, incluso cantidades moderadas de lluvia pueden dar lugar a crecidas repentinas.

El índice de Guía para Crecidas Repentinas de cada una de las pequeñas cuencas de drenaje de la región se define como la cantidad de lluvia de una duración determinada, caída sobre la pequeña cuenca, que es suficiente para originar un flujo de caudal de cauce lleno a la salida de la corriente de drenaje. Constituye un umbral de precipitación medio por unidad de área en la cuenca en cuestión y, si su

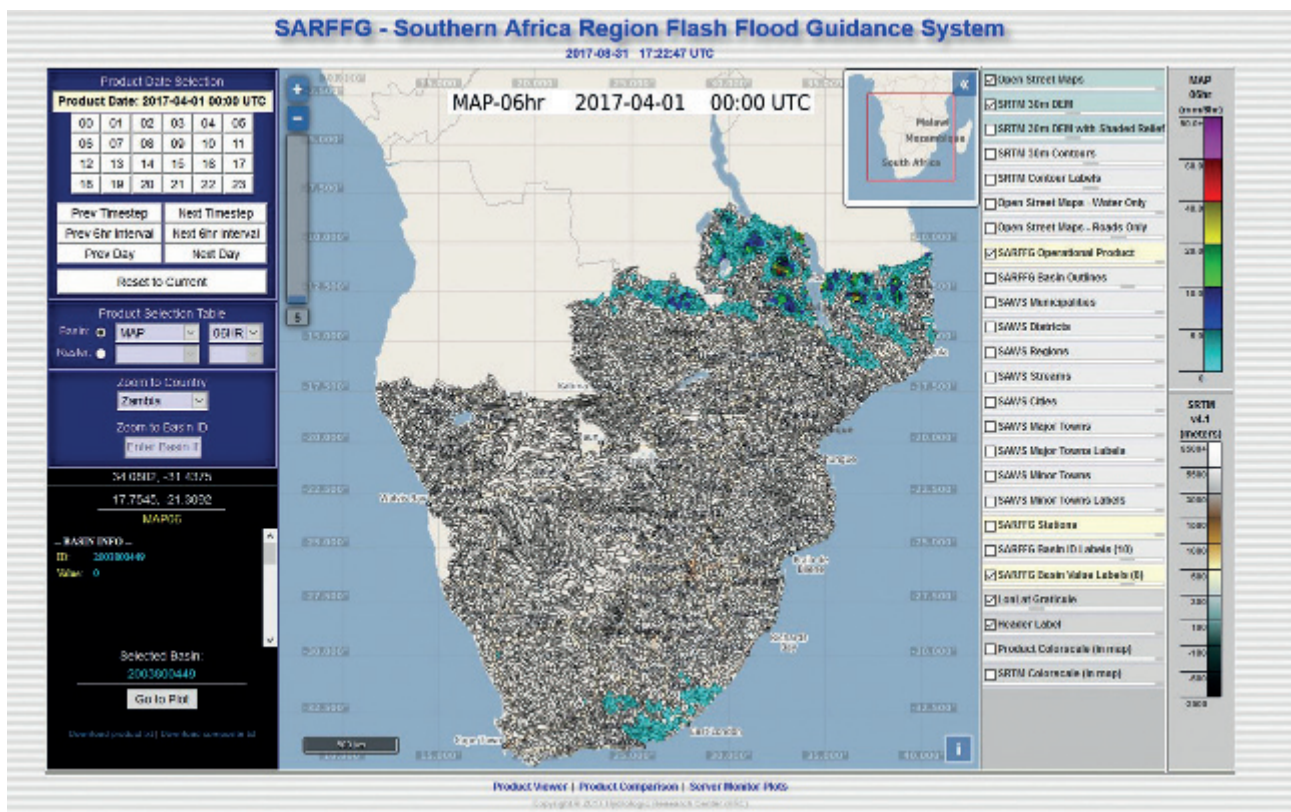


Figura 2a. Interfaz interactiva para predictores del Sistema Guía para Crecidas Repentinas con cobertura mundial referida al sistema regional de África meridional

valor es superado por la precipitación prevista, implica el inicio de una inundación por desbordamiento a la salida de la corriente de drenaje de la cuenca. El concepto se usa solo para indicar la ocurrencia de una posible inundación repentina para una cuenca en particular (que tiene lugar a la salida de la pequeña cuenca) y no la magnitud del flujo de desbordamiento.

La definición de Guía para Crecidas Repentinas pone de relieve que es necesario disponer de una contabilidad del agua del suelo (y en las regiones frías, también de la acumulación y fusión de la nieve) en cada cuenca de drenaje propensa a las crecidas repentinas con objeto de generar, de manera continua, este índice. Para estimar el índice de amenaza de crecida repentina para un período de 3 a 24 horas, se requiere asimismo contar con una capacidad de predicción mesoescalar de la precipitación con una resolución suficiente (2 a 4 km²) para la región.

Hay un modelo de acumulación y fusión del agua de nieve, otro de contabilidad del agua del suelo (modelo de humedad del suelo), otro para estimar la Guía para Crecidas Repentinas usando la información del modelo de contabilidad del agua del suelo, y un elemento que estima el déficit de almacenamiento de la corriente con respecto al caudal del cauce lleno (modelo de umbral de escorrentía). Todos estos modelos se ejecutan continuamente para todas

las cuencas pequeñas de la región con resoluciones temporales variables según la región y los datos de entrada disponibles. La mayoría de los sistemas se ejecutan con un ciclo de actualización de 6 horas, pero existen algunos desarrollos en entornos convectivos que utilizan un ciclo de actualización horaria. La resolución espacial de las cuencas pequeñas definidas para cada región depende principalmente de los datos de precipitación disponibles (la precipitación medida por satélite está asociada con resoluciones del orden de 100 km², mientras que la precipitación determinada por radar se corresponde con resoluciones espaciales de hasta decenas de kilómetros cuadrados).

Existe un control de la calidad de los datos de entrada y, en el caso específico de los datos de precipitación obtenidos por teledetección, se lleva a cabo un ajuste de desviación efectuado en tiempo real a partir de la información proporcionada por los pluviómetros automáticos disponibles sobre el terreno. El ajuste consta de un factor climático constante a lo largo de una estación y de un elemento en tiempo real, variable en el tiempo, que utiliza un filtro adaptativo de Kalman para procesar las observaciones del pluviómetro en tiempo real.

Hay un elemento mesoescalar de predicción numérica del tiempo, forzado por la información de entrada proveniente

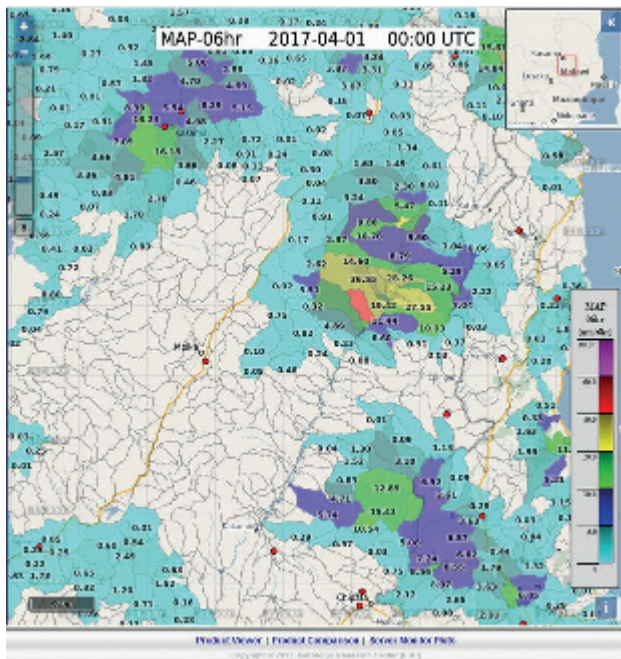


Figura 2b. Detalle ampliado del sistema regional de la figura 2a

del modelo atmosférico global, que ofrece predicciones de precipitación en cuadrículas de alta resolución para la región hasta con 48 horas como plazo máximo de antelación. El Sistema Guía permite utilizar hasta cinco modelos de precipitación para predecirla y calcula la amenaza de crecida repentina correspondiente a cada modelo (conjunto multimodelo) para la revisión del predictor.

En las figuras 2a y 2b se muestra una representación reciente de la interfaz del producto difundida a través de un protocolo de Internet seguro. La interfaz permite al predictor seleccionar lo que quiere ver y superponer información adicional relacionada con la vulnerabilidad a las crecidas repentinas (por ejemplo, carreteras o municipios y, si están disponibles, mapas de vulnerabilidad de creación externa). El predictor también puede ampliar la imagen en lugares específicos donde existe la amenaza potencial de inundación repentina y obtener información del producto para las pequeñas cuencas individuales (figura 2b); asimismo, puede visualizar las series temporales de productos (no se muestran) para comparar los valores actuales con los del pasado reciente antes de realizar una evaluación del aviso.

También existe un programa de formación profesional estructurado en cinco fases para aumentar la capacidad de los hidrometeorólogos dedicados a las crecidas repentinas en las regiones donde se ha implantado el Sistema Guía y cuyo objetivo es enseñar a los predictores a utilizar el sistema de manera eficaz. Los que superan un cierto nivel de rendimiento obtienen la certificación de la OMM para convertirse en instructores del Sistema Guía para Crecidas

Repentinas con cobertura mundial en sus países. Las fases 4 y 5 involucran a estos instructores formados y certificados en la región.

Al menos una vez al año, después de la estación húmeda, se recomienda elaborar indicadores de rendimiento para evaluar y ajustar el componente computacional y el desarrollo de avisos para algunos de los sistemas regionales. Los indicadores incluyen tanto la probabilidad de detectar casos de crecida repentina como la probabilidad de avisos falsos o de fallos. Los resultados obtenidos hasta el momento por los diversos sistemas y predictores ponen de manifiesto el valor añadido aportado por estos últimos en las operaciones en tiempo real y en la preparación de avisos, así como un rendimiento estacional por lo general fiable de los sistemas durante la estación húmeda. En la mayoría de los casos, las fuentes de mayor incertidumbre son las predicciones de los modelos de predicción numérica del tiempo.

Avances y retos

Cada componente regional del Sistema Guía para Crecidas Repentinas con cobertura mundial incluye la posibilidad de utilizar como entrada la información proveniente de algunos modelos mesoescalares de predicción numérica del tiempo para desarrollar índices de amenaza para cada modelo de cara a la revisión del predictor. Hay que destacar que los predictores solicitaron que todos estos modelos de entrada se conserven claramente en la serie de productos en lugar de ser mezclados mediante la producción de una combinación estadística de estas predicciones. La capacidad del predictor para elegir en tiempo real qué modelo usar como entrada para una región en particular está detrás de esa solicitud y es la que orientó el diseño.

Entre los avances de la capacidad básica del citado sistema con cobertura mundial cabe citar la posibilidad de generar predicciones inmediatas en tiempo real de la ocurrencia de deslizamientos de tierra, con arreglo a unos mapas de susceptibilidad en alta resolución previamente calculados, y de estimar umbrales en tiempo real de humedad del suelo y precipitación a partir de la Guía para Crecidas Repentinas. Estas opciones se encuentran actualmente en fase de evaluación para uno de los sistemas regionales, si bien los informes al respecto son positivos y constatan la eficacia de su utilización.

Los Sistemas Guía para Crecidas Repentinas también se están mejorando con prestaciones de canalización fluvial y simulación de embalses. Hoy en día es posible ofrecer hidrogramas simulados y previstos para localizaciones prefijadas en los grandes ríos regulados de una región. Esta información, que actualmente es objeto de evaluación

en algunos lugares, resulta útil para los avisos de crecida de los grandes cursos fluviales.

Otra aplicación reciente de los modelos de los componentes del Sistema Guía se refiere a la predicción estacional por conjuntos del equivalente en agua de nieve, y a la escorrentía combinada del deshielo y la lluvia con una resolución temporal de 6 horas; algo que se llevó a cabo para Tayikistán utilizando los datos y los modelos del Sistema Guía para Crecidas Repentinas de Asia central (otro de los desarrollos regionales del Sistema Guía con cobertura mundial) en colaboración con el Servicio Hidrometeorológico Nacional de aquel país.

Los retos experimentados durante la puesta en marcha de los Sistemas Guía para Crecidas Repentinas en todo el mundo se enumeran a continuación, con énfasis en lo concerniente a los datos y la información:

- **Ingesta de datos.** Asociado a la gran variedad de formatos de datos, la disponibilidad de datos públicos y privados, la fiabilidad en la entrega de datos al sistema, la llegada asincrónica de los mismos y la mezcla de resoluciones de datos espaciotemporales.
- **Incertidumbre en mediciones y predicciones.** Relacionado con la caracterización de la incertidumbre como climatológica o como variable en el tiempo, y asociado a las implicaciones en materia de incertidumbre cuando únicamente se dispone de registros cortos para ajustar la fiabilidad del sistema.
- **Generación puntual de productos y avisos.** Los principales problemas en este caso radican en los ordenadores del centro regional (y en los requisitos y limitaciones de comunicación correspondientes) y en la posibilidad de que el predictor no pueda realizar con puntualidad los ajustes y la generación de avisos junto con una respuesta eficaz. Por ejemplo, las decisiones de no utilizar productos de predicción por conjuntos en las ejecuciones iniciales se tomaron sobre la base de estas limitaciones en los centros regionales.
- **Productos fácilmente accesibles y que puedan ser objeto de búsqueda por parte de los SMHN.** Este caso se refiere a la interfaz y los requisitos de bases de datos internos de cada país, a las restricciones en las comunicaciones para acceder a los productos del sistema de manera oportuna por parte de ciertos países en desarrollo, al uso de estrategias de almacenamiento de datos local frente al regional, y al requisito de utilizar software libre y de código abierto para países en desarrollo (por ejemplo, programas informáticos de sistemas de información geográfica (SIG) para el usuario final).

- **Enseñanza y formación profesional en materia de interpretación de productos y de comunicación con los organismos de gestión de desastres.** Aquí los problemas surgen a causa de la variedad de conocimientos y experiencia de los predictores, de la necesaria naturaleza interdisciplinaria y multidisciplinaria del proceso de evaluación que da lugar a la generación de avisos, y de la diversidad cultural y socioeconómica tanto en el valor percibido de los avisos como en la respuesta a los mismos por parte de predictores, gestores de desastres y el público en general.

La presencia a nivel global del Sistema Guía para Crecidas Repentinas con cobertura mundial y la experiencia acumulada por su uso en una variedad de situaciones, constituyen un catalizador que convierte estos retos en oportunidades y aumenta, todavía más, la utilidad y fiabilidad del citado sistema, mejorando la información y colaboración hidrometeorológicas en todo el mundo.

Agradecimientos

La puesta en marcha de los componentes regionales del mencionado Sistema Guía de cobertura mundial se llevó a cabo en los últimos 15 años con el apoyo de la OFDA de la USAID, la OMM y la NOAA. Se reconoce con gratitud el apoyo y la orientación proporcionados durante estos años por Sezin Tokar, Curt Barrett, Paul Pilon, Ayhan Sayin, Claudio Caponi, Wolfgang Grabs y Dan Beardsley, de los organismos asociados. La participación voluntaria y proactiva del personal de los centros regionales y de los predictores de los países constituyó la base fundamental que hizo posible el desarrollo de unos componentes regionales útiles del Sistema Guía. Las contribuciones del personal del CIH por áreas (sin ningún orden en particular) fueron las siguientes: Theresa Modrick-Hansen en modelización hidrometeorológica y análisis SIG, Eylon Shamir en estudios de modelización y evaluación de humedad y fusión de nieve en el suelo, Rochelle Graham en desarrollo de programas de formación profesional y creación de vínculos con organismos de gestión de desastres, Ari Posner (ahora en la Oficina de Reclamaciones de los Estados Unidos de América) en evaluaciones de deslizamientos de tierra, Zhengyang Cheng en canalización fluvial y predicción de crecidas urbanas, Jason Sperflage en ingeniería de sistemas de computación y diseño de programas informáticos, Cris Spencer en diseño y desarrollo de programas informáticos operativos, Randall Banks en desarrollo de interfaces interactivas de Internet, y Robert Jubach en gestión de programas y creación de vínculos de avisos para la gestión de desastres.