



El cambio climático y las crecidas

por Zbigniew W. Kundzewicz*

Introducción

Las crecidas se han convertido en un riesgo natural importante en muchas regiones del planeta.

Algunas de las crecidas acaecidas en los últimos tiempos han supuesto pérdidas materiales de más de diez mil millones de \$ EEUU (los daños materiales provocados por las inundaciones en China durante el verano de 1998 alcanzaron los treinta mil millones de \$ EEUU). Las pérdidas humanas han sido grandes y el número de fallecidos en las distintas inundaciones que han sufrido los países menos desarrollados supera, en cada uno de los casos, el millar. Los perjuicios económicos anuales debidos a los fenómenos meteorológicos especialmente adversos se multiplicaron por diez entre las décadas de 1950 y 1990 (cálculos en dólares en los que se ha tenido en cuenta el ajuste inflacionista) y los daños provocados por las crecidas han seguido una variación similar.

Las crecidas altamente destructivas son habituales fuera de Europa (sobre todo en Asia, en países como Bangladesh, China y la India); sin embargo, desde 1990, se han producido crecidas graves en muchas zonas de Europa. Por ejemplo, los daños materiales registrados en Europa en 2002 como consecuencia de aquellas fueron de 21 000 millones de euros, los más altos en un único año hasta ese momento.

Observaciones

Groisman y otros (2005) han observado un aumento generalizado de las precipitaciones intensas en las latitudes medias. Asimismo, también se ha notificado un incremento de las precipitaciones intensas en Sudáfrica, Siberia, el centro de México, el noreste de los EEUU y el norte de Japón, lugares en los que las precipitaciones totales y la frecuencia de días lluviosos o bien no cambió o disminuyó. Podemos interpretarlo como una consecuencia del calentamiento global, fenómeno al que acompaña un aumento en la concentración de vapor de agua en la atmósfera, lo que nos lleva a un aumento en la intensidad de las precipitaciones, y esto, a su vez, puede desembocar en crecidas.

Durante algunas de las crecidas recientes, el caudal y el nivel de los ríos han pulverizado todas las marcas anteriores. En la acaecida durante 2002 en la República Checa, el río Moldava alcanzó en Praga su caudal más alto conocido: por primera vez en 175 años dicho caudal fue superior a los 5 000 m³/s, mientras que entre 1941 y 2001 jamás alcanzó los 2 500 m³/s. El nivel máximo del río Elba a su paso por Dresde (Alemania) en 2002, 940 cm, superó en 63 cm el anterior máximo histórico. El nivel de los ríos nunca había superado los 800 cm en el período comprendido entre 1880 y 2001.

Son varios los programas técnicos y científicos de la OMM que se ocupan de la variabilidad del clima, de su cambio y de las consecuencias de este sobre los fenómenos hidrológicos extremos, entre ellos las crecidas. Las actividades previstas por estos programas tienen como objetivo conocer y comprender mejor las consecuencias del cambio climático sobre los recursos hídricos y sobre los fenómenos hidrológicos especialmente adversos. En concreto, el Programa Mundial sobre el Clima-Agua (PMC-Agua), es una iniciativa que aborda las cuestiones de la hidroclimatología mundial y que proporciona asistencia técnica experimentada relacionada con la evaluación sistemática a escala mundial de las variaciones y cambios en los regímenes hidrológicos, así como en las condiciones de los recursos hídricos que dependen del clima. Además, orienta y brinda su apoyo a los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) de la OMM, a los programas nacionales e internacionales de investigación, organizaciones internacionales, distintos tratados, así como a las iniciativas que favorecen la educación y la creación de capacidades.

Tras las últimas y terribles crecidas, la búsqueda de tendencias en las largas series de datos históricos relativos a crecidas de los que se dispone tiene tanto interés científico como importancia a efectos prácticos y es esencial a la hora de diseñar dispositivos de protección frente a las crecidas (los diseños tradicionales de estos dispositivos utilizan el supuesto de caudales estacionarios). Se han puesto en

* Centro de Investigación del Medio Agrícola y Forestal (Academia Polaca de las Ciencias), Bukowska 19, 60809 Poznań (Polonia), e Instituto para la Investigación de los Impactos del Clima de Potsdam, Telegrafenberg, 14412 Potsdam (Alemania)

marcha varias actividades importantes englobadas en el marco de actuaciones del Programa Mundial sobre el Clima-Agua encaminadas al análisis de los datos obtenidos en las observaciones hidrológicas realizadas en largos períodos de tiempo a fin de detectar indicios de cambio (Kundzewicz y Robson, 2000, 2004; Kundzewicz y otros, 2004, 2005; Radziejewski y Kundzewicz, 2004(a); Svensson y otros, 2004, 2005). Un estudio realizado por Kundzewicz y otros dentro del programa PMC-Agua (2004, 2005(a)) sobre la detección de cambios en las series temporales de valores hidrológicos históricos mundiales referidos a los caudales máximos anuales, basado en los datos que proporcionó el Centro Mundial de Datos de Escorrentía de Coblenza (Alemania), contradice la hipótesis de un aumento generalizado de los caudales. Si bien el test de Mann-Kendall permitió identificar aumentos estadísticos significativos en 27 de los casos, también se detectaron 31 casos de disminución del caudal y 137 casos (la mayoría) en los que la variación del caudal no era significativa estadísticamente hablando. Svensson y otros (2004, 2005) no encontraron una tendencia significativa ni coherente en su análisis de los valores pico superiores a un valor umbral.

A pesar de que no se identificó una tendencia coherente en los cambios observados en los registros europeos, se constató (Kundzewicz y otros, 2006) que en el período 1961-2000, los valores de caudal máximo diario global eran más frecuentes (46 estaciones) en las dos últimas décadas del intervalo de estudio, 1981-2000, que en las dos décadas anteriores, 1961-1980 (valores máximos en 24 estaciones).

Sin embargo, debido a que las crecidas constituyen un fenómeno complejo y a que son varios los fenómenos que las originan, hay que interpretar estos resultados con cautela. En este análisis no se distinguió entre los distintos mecanismos que dan origen a las crecidas (por ejemplo, entre las debidas al deshielo y las debidas a las lluvias) y se trató uniformemente a todas ellas. Gracias a un análisis estacional, Mudelsee y otros (2003) demostraron que las

crecidas invernales en el Elba y en el Oder han disminuido, mientras que no se detectó ninguna variación significativa en las crecidas estivales de estos ríos. Un estudio de Arnell y Liu (2001) parece demostrar de manera concluyente que el número de crecidas en Europa debidas a acumulaciones de hielo ha disminuido. En muchas áreas se ha observado que ha variado la época en la que se producen las crecidas y que ha aumentado el número de las mismas que se producen a finales de otoño y en invierno. Además, el caudal de los ríos posee una gran variabilidad natural y muestra persistencia a largo plazo, por lo que los resultados de los tests pueden parecer contradictorios.

Además de la dificultad inherente a demostrar la influencia del efecto invernadero sobre los valores registrados de los caudales, los datos de los que se dispone presentan también problemas graves (influencia directa de la mano del hombre, longitud de las series de datos, lagunas en las mismas y errores); la metodología utilizada para detectar los cambios tampoco está libre de errores. Incluso si los datos disponibles son perfectos, los fenómenos extremos (y por tanto, inusuales) son escasos. Incluso con series muy largas de registros instrumentales, la muestra de crecidas verdaderamente graves y destructivas es escasa.

Radziejewski y Kundzewicz (2004(b)), quienes estudiaron la detectabilidad de tendencias introducidas artificialmente (por tanto, completamente controlables) en las series de datos históricas, hicieron notar que de la incapacidad para identificar una tendencia significativa no puede concluirse que no exista un cambio. Si el cambio no es muy grande y permanece poco tiempo puede pasar inadvertido. A medida que su intensidad y duración aumentan, lo hace también la probabilidad de detectarlo.

Previsiones

Los modelos de simulación climática permiten prever los cambios en los valores extremos de las precipitaciones en muchas zonas del planeta. Por regla general, los

valores de precipitación extremos sufrirán mayor impacto que los valores medios. Como la capacidad de la atmósfera para retener agua aumenta con la temperatura (y, por lo tanto, su potencial absoluto de contenido en agua) la probabilidad de lluvias intensas aumenta también con ella. Los estudios que se han realizado recientemente acerca de los cambios en los valores extremos de las precipitaciones en Europa indican que la intensidad de los episodios de fuertes precipitaciones diarias aumentará en la mayoría de los casos.

Los análisis de Palmer y Räisänen (2002) sobre las diferencias modelizadas entre la pasada de control y un conjunto en el que se permitía un incremento con el paso del tiempo en la concentración de dióxido de carbono atmosférico hasta su duplicación previeron un aumento en el riesgo de un invierno muy húmedo en Europa y una estación monzónica asimismo muy húmeda en la zona asiática del monzón.



El proyecto MICE sobre Modelización del Impacto de los Extremos del Clima, dentro del V Programa Marco de la Unión Europea demostró que una de las consecuencias que podemos esperar del calentamiento de origen antropogénico del planeta es una modificación en la aparición de fenómenos extremos. Los resultados de las simulaciones climáticas realizadas (HadRM3-P) indican que es probable que las precipitaciones medias estivales en gran parte de Europa descieran en el futuro, pero que el comportamiento de los valores extremos de precipitación sea diferente. Se prevé que los cuartiles más altos de las precipitaciones diarias y de los máximos diarios anuales de precipitación aumenten en muchas zonas, incluso donde los valores medios de precipitación se espera que descieran (Kundzewicz y otros, 2006). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Christensen y Christensen en 2003 utilizando un modelo diferente. Asimismo, se ha previsto un aumento en el número de días con precipitaciones intensas para la mayor parte de Europa según el modelo de simulación HadRM3-P (Kundzewicz y otros, 2005).

Como ya se recogía en el estudio de Arnell y Liu (2001), los cambios futuros en las frecuencias de ocurrencia de las crecidas en Europa son complejos y dependen del mecanismo de generación que se considere: por ejemplo, se prevé un aumento en los valores de las crecidas causadas por lluvias intensas y un descenso en los valores de las crecidas debidas al deshielo primaveral. Se espera que una consecuencia del cambio climático sea el aumento del riesgo de crecidas a consecuencia del desbordamiento de los ríos en amplias zonas de Europa.

Milly y otros (2002) demostraron que en quince de las dieciséis grandes cuencas hidrográficas estudiadas en todo el mundo se ha previsto que la crecida control a cien años se supere con más frecuencia como consecuencia de que se cuadruplique el dióxido de carbono atmosférico. Se prevé, incluso, que en algunas zonas este valor se supere cada dos a cinco años. Se espera también que sea en

Foto: Schweizer Luftwaffe



el norte de Asia donde la intensidad de los valores extremos sea más fuerte, si bien la incertidumbre a este respecto es muy alta. Lo más probable es que la incidencia de los fenómenos especialmente virulentos sobre las condiciones de vida humanas sea más fuerte en aquellos países con una capacidad de adaptación baja (Manabe y otros, 2004).

Quedan todavía muchas cosas por saber acerca de las consecuencias del cambio climático sobre los fenómenos de precipitaciones extremas y crecidas en el futuro. Los valores estimados de las precipitaciones varían considerablemente en función del modelo climático y los escenarios de emisiones utilizados. El desajuste de escala entre los modelos climáticos de baja definición y la escala hidrológica (cuenca hidrográfica) es otra fuente de incertidumbre, sobre todo por lo que se refiere a las crecidas extremas.

Conclusiones

De acuerdo con las leyes físicas, la capacidad de la atmósfera para retener agua y, por lo tanto, su potencial para originar precipitaciones intensas aumenta con la temperatura. Como son muchas las indicaciones recientes de que se está produciendo un calentamiento de muchas regiones y el número de grandes crecidas debidas a fuertes precipitaciones ha aumentado en ellas, es de vital importancia hallar tendencias en las precipitaciones intensas y en

las crecidas. Aunque se haya notificado un aumento generalizado de las precipitaciones intensas observadas, el análisis de los registros de caudales máximos anuales de los ríos no detecta una tendencia en aumento generalizada y coherente, lo que entra en contradicción con algunas de las previsiones obtenidas del comportamiento futuro, que auguran precipitaciones más intensas que aumentan el riesgo de crecidas.

Los cambios en la frecuencia de las crecidas debidos al clima son complejos y dependen del mecanismo que origine la crecida (p. ej. lluvias intensas frente al deshielo primaveral). El cambio climático influye en estos fenómenos de diferentes maneras. Si la temperatura del planeta aumenta, es probable que el riesgo de crecidas sea mayor en aquellas zonas en las que las crecidas se deban principalmente a las fuertes lluvias estivales (Kundzewicz y otros, 2005). Asimismo puede que el riesgo de crecidas invernales aumente en aquellas zonas en las que los inviernos sean más cálidos y húmedos, pues las precipitaciones en forma de agua de lluvia aumentarán y descenderán las precipitaciones en forma de nieve. Por otro lado, es probable que las crecidas debidas al deshielo y a acumulaciones de hielo sean cada vez menos frecuentes y menos graves en muchas zonas de un planeta cada vez más cálido (el argumento de la temperatura es sólido). Desciende el riesgo de creci-

das primaverales en aquellas zonas en las que el deshielo es temprano y de menor cuantía. En resumen, en los lugares en los que las crecidas pueden deberse a distintas causas, el efecto neto del cambio climático sobre ellas no es en absoluto evidente, ni tiene tampoco validez general o universal sobre todas ellas, por lo que no se puede extraer una ley general sobre la variación del riesgo de crecidas.

El riesgo de crecidas tiende a aumentar como consecuencia de impactos tanto de orden climático como de orden no climático y cuya importancia está ligada a cada localización. Son varios los factores de orden no climático que influyen sobre las crecidas, como por ejemplo, los cambios en los sistemas económicos o sociales, así como los cambios en los sistemas terrestres (sistemas hidrológicos y ecosistemas). Los cambios en el uso de la tierra originan cambios en la cubierta terrestre y gobiernan las relaciones entre las precipitaciones y el agua de escorrentía en las cuencas de drenaje. La deforestación, la urbanización y la reducción de las zonas húmedas disminuyen la capacidad de almacenamiento de agua y hacen que el coeficiente de escorrentía aumente, lo que origina el aumento de los caudales y la disminución del tiempo que transcurre hasta que se alcanza el máximo. Es más, en muchas regiones los asentamientos humanos han usurpado zonas propensas a sufrir crecidas, con lo que las pérdidas potenciales aumentan. Entre los factores importantes relacionados con el riesgo de crecidas se pueden mencionar el crecimiento demográfico y económico, las estrategias de protección frente a las crecidas, un comportamiento de concienciación frente al riesgo de crecidas (o ignorancia sobre las mismas) y una cultura que favorezca la compensación.

Es urgente que se produzca la adaptación a una situación en la que el riesgo de que ocurra una crecida es cada vez mayor, lo que supone un reto difícil de superar de cara a conseguir una mejor preparación frente a las crecidas que esté integrada con los sistemas de gestión de las mismas. Estos últimos deberían contar con una combinación óptima de medidas estructurales

y no estructurales. Una de las medidas más importantes de esta segunda categoría son los sistemas de previsión y alerta de crecidas, para los que se requiere una mejor utilización de la información y de los datos de carácter meteorológico y de la colaboración estrecha entre los distintos SMHN, tal y como se recalca en la Iniciativa para la Predicción de Crecidas de la OMM.

Son varias las actividades que ayudarían a comprender mejor, en términos cuantitativos, la relación entre el cambio climático y las crecidas. Es también indispensable que continúen los esfuerzos de detección del cambio y de sus características, basados en el análisis de largas series de registros de observaciones históricas de calidad controlada. Asimismo, es también imprescindible que continúen los esfuerzos destinados a transformar los resultados de los modelos climáticos de última generación en fenómenos relacionados con las consecuencias de las crecidas.

Agradecimientos

El presente artículo es una de las actividades de formación por parte del autor dentro del proyecto "Fenómenos meteorológicos e hidrológicos extremos en Polonia", financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia de la República de Polonia y el proyecto ENSEMBLES del VI Programa Marco de la UE.

Referencias

- ARNELL, N. y LIU CHUNZHEN (autores principales y coordinadores), 2001: Hydrology and water resources. Capítulo 4 de *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribución del II Grupo de Trabajo al Tercer Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (J.J. Mc CARTHY, O.F. CANZIANI, N.A. LEARY, D.J. DOKKEN y K.S. WHITE (Eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- CHRISTENSEN, J.H. y O.B. CHRISTENSEN, 2003: Severe summertime flooding in Europe, *Nature*, 421, 805.
- GROISMAN, P. YA. y otros, 2005: Trends in intense precipitation in the climate record, *J. Climate*, 18, 1326-1350.
- KUNDZEWICZ, Z.W., D. GRACZYK, T. MAURER, I. PRZYMUSIŃSKA, M. RADZIEJEWSKI, C. SVENSSON y M. SZWED, 2004: Detection of change in world-wide hydrological

time-series of maximum annual flow. WCASP-64, WMO, Ginebra.

- KUNDZEWICZ, Z.W., D. GRACZYK, T. MAURER, I. PRZYMUSIŃSKA, M. RADZIEJEWSKI, C. SVENSSON y M. SZWED, 2005(a): Trend detection in river flow time-series: 1. Annual maximum flow. *Hydrol. Sci. J.*, 50(5): 797-810.
- KUNDZEWICZ, Z.W., M. RADZIEJEWSKI e I. PIŃSKWAR, 2006: Too much, too little: precipitation extremes in the changing climate of Europe, *Clim. Res.* (en imprenta).
- KUNDZEWICZ, Z.W. y A. ROBSON (Ed.), 2000: Detecting trends and other changes in hydrological data. World Climate Programme-Water, WCDMP-45, WMO/TD-No. 1013, WMO, Ginebra.
- KUNDZEWICZ, Z.W. y A.J. ROBSON, 2004: Change detection in river flow records-review of methodology. *Hydrol. Sci. J.*, 49(1): 7-19.
- KUNDZEWICZ, Z.W., U. ULBRICH, T. BRÜCHER, D. GRACZYK, A. KRÜGER, G. LECKEBUSCH, L. MENZEL, I. PIŃSKWAR, M. RADZIEJEWSKI y M. SZWED, 2005: Summer floods in central Europe—climate change track? *Natural Hazards*, 36(1/2), 165-189.
- MANABE, S., P.C.D. MILLY y R. WETHERALD, 2004: Simulated long term changes in river discharge and soil moisture due to global warming. *Hydrol. Sci. J.*, 49(4), 625-642.
- MILLY, P.C.D., R.T. WETHERALD, K.A. DUNNE y T.L. DELWORTH, 2002: Increasing risk of great floods in a changing climate. *Nature*, 415, 514-517.
- MUDELSEE, M., M. BÖRNGEN, G. TETZLAFF y U. GRÜNEWALD, 2003: No upward trends in the occurrence of extreme floods in central Europe, *Nature*, 421, 166-169.
- PALMER, T.N. y J. RÄISÄNEN, 2002: Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate. *Nature*, 415, 512-514.
- RADZIEJEWSKI, M. y Z.W. KUNDZEWICZ, 2004(a): Development, use and application of the HYDROSPECT data analysis system for the detection of changes in hydrological time-series for use in WCP-Water and National Hydrological Services. WCASP-65, WMO, Ginebra.
- RADZIEJEWSKI, M. y Z.W. KUNDZEWICZ, 2004(b): Detectability of changes in hydrological records. *Hydrol. Sci. J.*, 49(1), 39-51.
- SVENSSON, C., Z.W. KUNDZEWICZ y T. MAURER, 2004: Trends in flood and low flow series (POT). WCASP-66. WMO, Ginebra.
- SVENSSON, C., Z.W. KUNDZEWICZ y T. MAURER, 2005: Trend detection in river flow series: 2. Flood and low-flow index series. *Hydrol. Sci. J.*, 50(5), 811-824.