

Dependence of deposition velocity on the frequency of meteorological observations for the Chesapeake Bay, *J. Aerosol Sci.*, **23**, Suppl. 1, S973-S976.

ROJAS, C.M., J. INJUK and R.E. VAN GRIEKEN, 1993: Dry and wet deposition fluxes of Cd, Cu, Pb and Zn into the Southern Bight of the North Sea. *Atmos. Environ.*, **27A**, 251-259.

SCUDLARK, J.R. and T.M. CHURCH, 1993: Atmospheric input of inorganic nitrogen to Delaware Bay, *Estuaries*, **16**, 747-759.

SCUDLARK, J.R., K.M. CONKO and T.M. CHURCH, 1994: Atmospheric wet deposition of trace elements to Chesapeake Bay: CBAD study year 1 results, *Atmos. Environ.*, **28**, 1 487-1 498.

STRUYF, H. and R. VAN GRIEKEN, 1993: An overview of wet deposition of micropollutants to the North Sea, *Atmos. Environ.*, **27A**, 2 669-2 687.

VAN DEN HOUT, K.D. (Ed.), 1994: *The impact of Atmospheric Deposition of Non-Acidifying Pollutants on the Quality of European Forest Soils and the North Sea*, Report of the ESQUAD Project, IMW-TNO Report No. R 93/329, 121 pp.

VAN JAARSFELD, J.A., 1992: Estimating atmospheric inputs of trace constituents to the North Sea: methods and results, In: *Air Pollution Modelling and its Application IX*, van Dop and Kallos (Eds.), Plenum Press, New York, 249-258.

La suscripción al *Boletín de la OMM* como un regalo

¿Por qué no ofrecer un año de suscripción al *Boletín de la OMM* a un amigo, colega o conocido, especialmente en un país en desarrollo, el cual esté interesado en la meteorología, hidrología o climatología?

Los precios para la suscripción por un año son:

Correo ordinario: 52 FF

Correo aéreo: 72 FF

Envíe nombre y dirección del suscriptor así como la versión del idioma (español, francés, inglés o ruso) junto con su giro a la Secretaría General de la OMM, Case postale 2300, CH-1211 Geneva 2, Suiza.

WARMENHOVEN, J.P., J.A. DUISER, L.T. DE LEU and C. VELDT, 1989: *The Contribution of the Input from the Atmosphere to the Contamination of the North Sea and the Dutch Wadden Sea*, TNO Institute of Environmental Sciences, Delft, the Netherlands, TNO Report R 89/349A, 126 pp.

WU, Z.Y., M. HAN, Z.C. LIN and J.M. ONDOV, 1994: Chesapeake Bay atmospheric deposition study, Year 1: Sources and dry deposition of selected elements in aerosol particles, *Atmos. Environ.*, **28**, 1 471-1 486.

LOS BENEFICIOS DE LAS PREDICCIONES METEOROLÓGICAS

Por Eugene A. STALLINGS¹ y Danny L. FREAD²

Este artículo es una versión resumida de un Informe Técnico, del mismo título, que se está preparando.

El agua es un requisito esencial para mantener la vida, y sus diversos usos afectan a casi todas las fases de la existencia humana. Desde un punto de

vista nacional, en los EE. UU., el agua es abundante, pero la precipitación no se distribuye por el país uniformemente, por lo que las inundaciones y sequías son comunes. El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) vigila los ríos de todo el país durante las 24 horas del día, y emite avisos para proteger vidas y propiedades cuando hay amenaza de riadas. Por desgracia, los daños que éstas causan continúan aumentando a pesar de las medidas estructurales y no estructurales para mitigarlos. Se estima que las inundaciones originan anualmente en toda la nación daños por valor de 3,6 billardos de \$ EE. UU.

¹ Antiguo director del Centro Nacional de Referencia del HOMS, EE. UU.

² Director de la Oficina de Hidrología del Servicio Meteorológico Nacional, Silver Spring, MD 20910, EE. UU.

(USACE, 1986; 1996). En este informe, todas las estimaciones de daños por inundaciones, tanto los que se han sufrido como los que se han evitado, se basan en el período de 20 años que va desde 1977 hasta 1996, y están valorados a los precios de 1996.

En los EE. UU. la principal solución estructural para reducir los daños por las crecidas son las represas y diques, mientras que los principales medios no estructurales son unas predicciones hidrológicas oportunas y precisas. El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU. (USACE) y la Oficina de Recuperaciones de los EE. UU. (USBR) disponen de unos proyectos para controlar las inundaciones que prevén pérdidas anuales de 17,8 millardos de \$ EE. UU. al año. Por añadidura, las medidas no estructurales para mitigar los efectos de las inundaciones consideran que el potencial medio anual de éstas es aún mayor. Sin embargo, las predicciones hidrológicas sólo tienen valor si provocan en el usuario del plan contra las crecidas una respuesta que conduzca a una acción eficaz. Por ejemplo, cuando a través de los canales de difusión adecuados se emite un aviso de inundación para el público en general, los beneficios sólo se pueden aumentar mediante la evacuación, las medidas para luchar contra la inundación o el cierre de las instalaciones, a fin de reducir las posibles pérdidas que el agua pueda causar.

Los principales servicios hidrológicos que proporciona el SMN son los avisos de crecidas repentinas, las predicciones fluviales o de riadas, y las predicciones para el abastecimiento de agua. Los beneficios de las predicciones hidrológicas para mitigar los efectos de las inundaciones son de tres tipos: optimizar las operaciones de los embalses en los proyectos federales, avanzar en las medidas para luchar contra las inundaciones (diques provisionales, sacos de arena), y aumentar la antelación del aviso (tiempo comprendido entre la emisión de éste y el momento en que ocurre la inundación), para poder tomar medidas en los casos de inundaciones a corto plazo. Entre éstas se cuentan las crecidas repentinas, que pueden tardar en formarse hasta seis horas a partir del comienzo de una lluvia intensa. Como es lógico, el propósito principal de los avisos de crecidas repentinas es salvar vidas, y además se dispone de muy poco tiempo para salvar las propiedades y pertenencias personales. En las inundaciones en las que la antelación del aviso es mayor, la eficacia de éste se mide en función de las vidas y bienes salvados. Los beneficios que se asocian a las predicciones hidrológicas se atribuyen tanto a las medidas estructurales como a las no estructurales. Pero, para poder calcular los beneficios de las predicciones hidrológicas,

las estimaciones de daños se deben hacer en condiciones naturales.

El USACE, en los detallados informes que preparó tras haber estudiado varias cuencas fluviales, elaboró curvas de daños para cada tramo de río en la cuenca que se investigaba. Una vez que se ha confeccionado una historia de los daños causados por una crecida en una cuenca fluvial típica, comienza el proceso de calcular los beneficios de las soluciones estructurales y no estructurales ideadas para mitigar los efectos de la riada. La solución estructural analiza sencillamente los efectos con la estructura de control de la inundación, y sin ella. El USACE y la USBR confían plenamente en las predicciones hidrológicas del SMN para llevar a cabo sus proyectos. Los proyectos de control de las inundaciones se han diseñado para, mediante un programa de operaciones prefijado, reducir los daños que producen corriente abajo las aguas de la riada que se han quedado retenidas dentro del embalse. Sin embargo, es extremadamente difícil predecir las inundaciones, y no siempre es posible obtener los beneficios máximos de las medidas para mitigar sus efectos. En la mayoría de las avenidas, el SMN predice en qué momento llegará el valor pico de la riada a varias localidades clave aguas abajo y qué potencia tendrá. Esto hace que se puedan alcanzar más fácilmente los máximos beneficios económicos de la operación de control de la inundación. De acuerdo con la experiencia práctica de que gozan el USACE y la USBR, los hidrólogos superiores que trabajan en las sedes del SMN y del USACE han llegado oficiosamente a la conclusión de que a las predicciones hidrológicas del SMN se le debe aproximadamente el 5% de los daños totales por inundación que se han evitado en los proyectos de embalses del USACE en toda la nación. Al adoptar este factor prudente del 5%, se obtienen beneficios por usar las predicciones hidrológicas del SMN para lograr la mejor estimación de los beneficios netos máximos asociados a los proyectos de control de inundaciones para los embalses. Estos beneficios económicos se estiman en 890 millones de \$ EE. UU. al año.

Además de los beneficios para los embalses federales, las predicciones hidrológicas originan beneficios económicos que proceden de las medidas no estructurales. Los primeros implican las predicciones hidrológicas a largo plazo cuando se dispone de tiempo suficiente para construir diques provisionales o para otras medidas de emergencia. Las predicciones hidrológicas a largo plazo se realizan generalmente para aquellas zonas de los EE. UU. en las que la escorrentía de la nieve fundida es un factor importante en las inundaciones. Para el período de

Daños por inundaciones

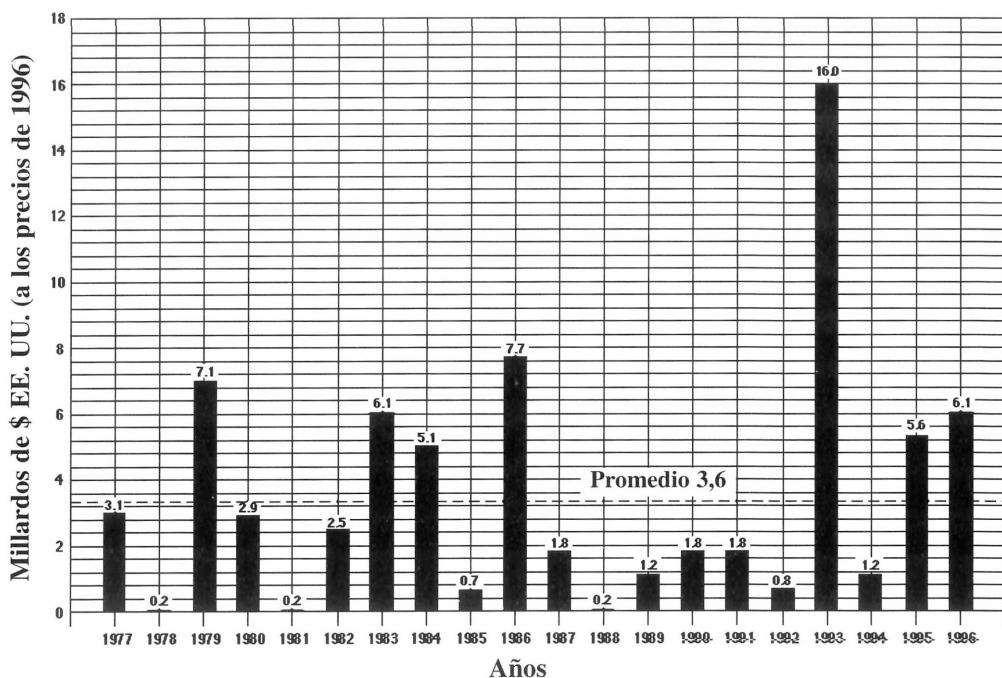


Figura 1 — Daños por inundaciones en los EE. UU., 1977-1996

20 años en cuestión, se hizo un análisis de los beneficios económicos que producían las predicciones hidrológicas a largo plazo que el SMN elaboraba utilizando datos históricos procedentes de múltiples informes técnicos. Las estimaciones reflejan la diferencia entre los daños naturales que se habrían sufrido durante una inundación a largo plazo (con diques provisionales o muros de sacos de arena, y sin ellos) y el coste de luchar contra ella.

Además de los diques, los sacos de arena y la evacuación, otras acciones ayudan a mitigar los daños de las crecidas. Un ejemplo fue el de Saint Paul, Minnesota, durante una inundación a largo plazo por fusión de la nieve. La antelación del aviso fue suficiente, lo que permitió que se retirasen todos los aviones del aeropuerto del centro de la ciudad, el cual finalmente quedó anegado. Así mismo, en una estación de ferrocarriles que corría peligro de inundarse, se colocó adecuadamente todo el material móvil y se cerró el acceso. En otro ejemplo de buena antelación del aviso, a una planta de depuración de aguas residuales en el río Mississippi, aguas abajo de Saint Paul, se la pudo proteger contra la riada con un segundo muro de sacos de arena.

Los beneficios económicos de mitigar los efectos de las inundaciones van desde cero hasta 1,43 millardos de \$ EE. UU. al año, con un beneficio

medio de 140 millones de \$ EE. UU. Se debe indicar que las inundaciones a largo plazo no ocurren todos los años, porque a veces la cantidad de nieve que hay sobre el suelo no es suficiente para producir desbordamientos, o porque los factores hidrometeorológicos permiten que la nieve se funda a un ritmo lo bastante lento como para no producir crecidas dañinas.

Las predicciones hidrológicas a corto plazo se aplican a aquellas inundaciones en las que si se aumenta la antelación del aviso, la población puede luchar contra la inundación, trasladar las pertenencias valiosas o evacuar la zona. Se han preparado varios informes acerca de los beneficios que aportaban unas predicciones hidrológicas que usaban diversos modelos matemáticos, y en los que se ofrecen también los datos de campo reales, que se obtuvieron entrevistando a los residentes de las llanuras inundables y a los propietarios de las empresas comerciales e industriales. Esas entrevistas se realizaban poco después de una inundación fuerte. Se hizo un análisis con objeto de determinar si la antelación del aviso era suficiente para tomar medidas adecuadas. En los modelos se supone que cualquier edificio comercial o residencial de la llanura anegable que se inundase hasta una altura similar, sufriría los mismos daños. Un resumen de 7 informes históricos muestra que los daños que se han evitado en las

inundaciones varían desde el 10 hasta el 43% de los daños reales (Day, 1996; Houghton, 1962). En una valoración prudente, a las predicciones hidrológicas del SMN para inundaciones a corto plazo se les atribuye un ahorro del 10% de los daños totales por inundaciones. Asimismo, las cifras que aparecen en el informe del período de 20 años revelan que las predicciones hidrológicas a corto plazo del SMN ahorran al año 360 millones de \$ EE. UU.

Las predicciones hidrológicas para mitigar los efectos de las inundaciones producen en los EE. UU. unos beneficios anuales que se reparten en los porcentajes siguientes: optimización de los embalses, 69% (890 millones de \$ EE. UU.); predicciones a corto plazo, 25% (360 millones de \$ EE. UU.); y predicciones a largo plazo, 6% (140 millones de \$ EE. UU.). Las predicciones hidrológicas, solamente por mitigar los efectos de las inundaciones producen unos beneficios anuales que van desde 0,13 millardos de \$ EE. UU. a 3,88 millardos de \$ EE. UU., con un valor medio anual de 1,4 millardos de \$ EE. UU.

Los principales beneficios económicos que generan las predicciones hidrológicas del SMN vienen de que éstas ayudan a mitigar los efectos de las inundaciones. Sin embargo, el SMN suministra predicciones hidrológicas de niveles fluviales que son también sumamente valiosas y que producen sustanciosos beneficios anuales a los EE. UU. Las predicciones, tanto de caudales altos como bajos, aportan también un dato importante para gestionar con aprovechamiento cualquier sistema de recursos hídricos. El SMN sigue perfilando su Sistema Avanzado de Predicciones Hidrológicas (AHPS), el cual no sólo aumentará notablemente los beneficios por mitigar los efectos de las inundaciones, sino que también será de gran ayuda para quienes gestionan los servicios de urgencia y para los ejecutivos de los recursos hídricos, en todos los proyectos relacionados con el abastecimiento de agua, con la navegación, con la generación de energía hidroeléctrica, con el riego y con el ocio. La modernización del SMN, los avances tecnológicos, un uso mejor de las predicciones cuantitativas de la precipitación y la experiencia práctica harán que en el futuro las predicciones hidrológicas se alarguen desde días hasta meses.

Los beneficios de las predicciones hidrológicas no se limitan a los EE. UU. Tanto Alemania como China ofrecen ejemplos excelentes de importantes éxitos recientes en mitigar los efectos de las inundaciones empleando las predicciones hidrológicas. En Alemania, los daños por el desbordamiento del río Rin en 1995 fueron de aproximadamente la mitad de los sufridos durante las inundaciones de

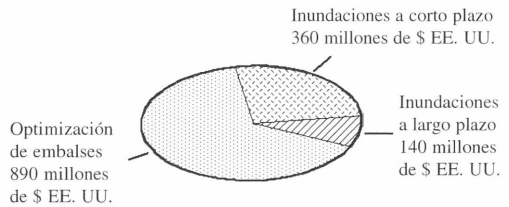


Figura 2 — Beneficios económicos anuales de las predicciones hidrológicas en los EE. UU. en millones de \$ EE. UU. (a los precios de 1996)

1993/1994 en la misma zona (Instituto Federal de Hidrología, 1994). En China, la Comisión de Asuntos Hídricos del Changjiang (Wan Jun, 1996) estimó en unos 1 000 millones de \$ EE. UU. los beneficios de las predicciones hidrológicas, sólo en el Changjiang en junio y julio de 1995. Estos grandes beneficios se logran porque en la llanura inundable las personas reaccionan ante los avisos de inundaciones y evacúan la zona con rapidez.

Aunque en el futuro seguirá habiendo sequías e inundaciones, las medidas estructurales y no estructurales pueden hacer mucho para mitigar los efectos económicos y para reducir las pérdidas de vidas durante estos fenómenos hidrológicos extremados. En los EE. UU. la eficacia de las predicciones hidrológicas del SMN ha reducido los daños anuales por inundaciones en casi 1,4 millardos de \$ EE. UU. La modernización del SMN y el AHPS proporcionarán a la nación beneficios económicos aún mayores.

Referencias

- DAY, H.J., 1996: *A Study of the Benefits Due to the US Weather Bureau River Forecast Service*. Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh, Pennsylvania.
- FEDERAL INSTITUTE OF HIDROLOGY, 1994: *The 1993/94 Flood in the Rhine Basin*, Koblenz, Germany.
- HOUGHTON, V.T. Jr., 1962: *River Forecasting in the Pittsburgh River District*. US Weather Bureau Office, Pittsburgh, Pennsylvania.
- USACE, 1986: *Annual Flood Damage Report to Congress for Fiscal Year 1986*. Washington, DC.
- USACE, 1996: *Annual Flood Damage Report to Congress for Fiscal Year 1996*. Washington DC.
- WANG JUN, 1996: *Analysis of Extraordinary Floods on the Middle and Downstream Changjiang River*. ICSU SC/IDNDR Workshop on River Disasters, Koblenz, Germany.