

Seoane, Rafael (julio 2007). *Recursos hídricos : Diseño de obras hidráulicas en ingeniería*. En: Encrucijadas, no. 41. Universidad de Buenos Aires. Disponible en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad de Buenos Aires: <<http://repositorioubasysbi.uba.ar>>

Recursos hídricos

Diseño de obras hidráulicas en ingeniería

El objetivo de este trabajo es discutir la importancia de los posibles efectos del calentamiento global sobre las componentes del ciclo hidrológico utilizadas para estimar los parámetros de diseño de obras hidráulicas y realizar una adecuada planificación de los recursos hídricos.

Por Rafael S. Seoane *

*Ingeniero Civil, UBA. Magister en Planificación e Ingeniería de Recursos Hidráulicos. Universidad Simón Bolívar. Venezuela. Profesor Adjunto Cátedra de Hidrología. Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería, UBA. Investigador del Instituto Nacional del Agua (INA), UBA y del CONICET.

El problema es importante debido a que relativamente pequeños cambios climáticos pueden producir significativos problemas en los recursos hídricos de distintas regiones y especialmente en cuencas hídricas ubicadas en zonas áridas y semiáridas.

Numerosas obras hidráulicas son de propósito múltiple, si bien la mayoría de ellas tienen como un objetivo fundamental la producción de energía o el abastecimiento para riego contribuyen en forma sustantiva en el control de los escurrimientos, para reducir los impactos sociales y económicos de la ocurrencia de eventos hidrológicos extremos.

En este último aspecto queda definida la necesidad de contar con los modelos matemáticos para estimar los valores hidrológicos extremos y para planificar la operación de las obras hidráulicas construidas en sistemas hidrológicos complejos.

La aplicación de modelos matemáticos necesita de una información hidrometeorológica e hidrológica adecuada para estimar los parámetros del modelo y verificar su capacidad para representar los distintos procesos hidrológicos que ocurren en una cuenca hídrica. Entre los procesos hidrológicos más importantes para la Ingeniería se encuentran: la transformación precipitación-caudal y el análisis de valores extremos de variables hidrológicas (por ejemplo: intensidad de las precipitaciones o los caudales máximos instantáneos anuales).

Los posibles impactos del calentamiento global sobre las componentes del ciclo hidrológico ya habían sido señalados en numerosos trabajos científicos publicados desde principios de los años 80 del siglo XX.

Los últimos eventos hidrológicos observados en el mundo y en nuestro país, y los resultados presentados en las últimas conferencias internacionales sobre el tema, muestran la importancia del problema. El Grupo Intergubernamental de Expertos en la Evolución del Clima (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) ha señalado la importancia de distintos eventos ocurridos en América Latina, entre los cuales se señalan las inundaciones en nuestro Litoral.

La Hidrología estudia el ciclo hidrológico y sus componentes pero la Ingeniería centra su interés en resolver los problemas asociados con la estimación de valores extremos (necesarios para el diseño de nuevas obras hidráulicas) y la simulación y pronóstico de variables hidrológicas (necesarias para la operación de sistemas hidráulicos, como sistemas de embalses para la generación hidroeléctrica, riego y el control de crecidas).

Los modelos para resolver problemas en Ingeniería pueden ser clasificados, de acuerdo con sus aplicaciones en :a) modelos para la estimación de valores extremos, b) modelos para la planificación de sistemas hídricos complejos y c) modelos para el análisis de series temporales. El calentamiento global podría influir en los problemas anteriores planteando la necesidad de contar con un nuevo enfoque para los modelos matemáticos utilizados para estimar parámetros de diseño de nuevas obras hidráulicas y para controlar los escurrimientos para condiciones presentes y futuras, distintas del pasado. Como ya se ha señalado, la construcción de obras hidráulicas para distintos propósitos ha formado parte de las respuestas que la Ingeniería ha dado a las necesidades de las sociedades desde sus primeros avances en el control de los caudales y de su variabilidad temporal.

Las distintas sociedades siempre fueron muy conscientes de la necesidad de contar con métodos para el diseño de las obras de control de crecidas y para la planificación de los recursos hídricos. Por lo tanto, los avances en la Hidrología y la Ingeniería se enfocaron en el desarrollo de técnicas para mejorar el control del escurrimiento y de su variabilidad temporal.

Es importante señalar que en todos los casos anteriores las dos ciencias involucradas, Hidrología e Ingeniería, desarrollan sus métodos y modelos con una hipótesis subyacente muy importante: las series temporales de las observaciones registradas en el pasado proveen la información de la estructura de los procesos aleatorios que continúan sin modificarse en el futuro. Es decir, no cambian sus propiedades estadísticas con el tiempo.

Esta característica llevaba directamente a la idea de que contar con series hidrológicas más extensas permitía alcanzar las estimaciones más precisas para el diseño de obras hidráulicas con desarrollos más modernos.

A continuación se presentan dos ejemplos, el primero discute la importancia de contar con nuevos modelos matemáticos y revisa algunos conceptos de la estimación de parámetros y en el segundo se presentan resultados obtenidos aplicando pruebas estadísticas en series de caudales observados en cuencas de la Patagonia.

Valores hidrológicos extremos y parámetros de diseño de obras hidráulicas

Dawdy (2007) señala que la Ingeniería está asociada a la necesidad de la predicción de variables hidrológicas y que numerosas técnicas de predicción podrían perder su validez rápidamente dado que, no podrían predecir correctamente bajo las nuevas condiciones hidrológicas asociadas con el calentamiento global. En este trabajo, Dawdy realiza un análisis de un tema relacionado con la estimación de parámetros de diseño de obras hidráulicas. La solución del problema, bajo un enfoque probabilístico, implica establecer

una relación entre los caudales máximos anuales, y el período de retorno que se utiliza normalmente en el diseño de distintos tipos de obras hidráulicas.

El proceso de estimación de la relación anterior incluye: la selección de una función de densidad de probabilidad, la estimación de sus parámetros, y la posterior aplicación del modelo para definir el caudal máximo anual asociado con una probabilidad de ocurrencia. Esta información se utiliza en el diseño de obras hidráulicas, sin embargo, en ciertas ocasiones el problema presenta una complicación adicional: la ubicación seleccionada para la obra hidráulica no coincide con las secciones donde se han realizado las observaciones de caudales necesarias para la aplicación del método.

Esta situación ha orientado el desarrollo de numerosos métodos para la estimación de caudales en sitios que carecen de la información hidrológica suficiente; el tema analizado a continuación se relaciona con este problema y la importancia de contar con modelos que permitan relacionar caudales máximos con períodos de retorno.

Dawdy (2007) describe la evolución de un método de regresión para predecir crecidas extremas en cuencas sin información de caudales, utilizando las series observadas en cuencas con información completa. Luego, discute los avances de los modelos aplicando el concepto que ubica a la predicción como un problema de la Ingeniería y al desarrollo de modelos que mejoran el entendimiento, como un problema que requiere un enfoque más científico.

Si continuamos con el análisis histórico de Dawdy, en 1964 se desarrolló el modelo matemático de Stanford de simulación del proceso de transformación precipitación-caudal, representación basada en un enfoque determinístico aplicando ecuaciones semi-empíricas.

Los dos modelos permitían resolver problemas prácticos de Ingeniería. El modelo para el análisis regional de caudales máximos anuales fue diseñado para predecir caudales asociados con un período de retorno que se utilizan para la construcción de carreteras, puentes, y diseño de vertederos ubicados en secciones sin datos. El modelo determinístico fue desarrollado para el planeamiento y el proyecto de obras hidráulicas.

En la actualidad, se están desarrollando nuevos modelos de valores extremos que permitan relacionar los caudales con las características de las tormentas (por ejemplo: el tamaño de celdas convectivas) para poder estudiar la sensibilidad de los caudales extremos a las condiciones hidrológicas actuales y futuras.

Es importante destacar la importancia de contar con estimaciones precisas de los caudales máximos anuales para distintas regiones de nuestro país. Este requerimiento es especialmente válido para amplias zonas donde se debe estudiar la seguridad hidrológica de las presas construidas a principios del siglo pasado, con métodos hidrológicos ya superados y para condiciones hidrológicas posiblemente diferentes a las actuales y a las futuras.

En nuestro país la mayor parte de la población vive en un área que representa el 24% del territorio nacional, contando esta región con la mayor disponibilidad de agua. En el 61% del área restante, se presentan condiciones de aridez y vive el 6% de la población. Nuevas investigaciones indican que para las regiones áridas y semi-áridas las estimaciones de caudales máximos anuales presentan una mayor incertidumbre comparadas con las regiones húmedas (*Meigh et al., 1997*).

Esta realidad muestra la importancia del tema del control de inundaciones y plantea la necesidad de contar con un nuevo enfoque para el análisis de distintos escenarios hidrológicos futuros. En este punto, se debe señalar la necesidad del análisis del concepto de período de retorno y las condiciones de aplicación para situaciones no estacionarias (Clarke, 2006)

Planificación de los recursos hidráulicos. Un caso de estudio

La evaluación del impacto en las variables hidrológicas de los posibles cambios asociados con el calentamiento global es de gran importancia para la planificación a largo plazo de los recursos hídricos de una cuenca.

El sistema hidrológico seleccionado fue el del río Neuquén dada la presencia del Complejo Cerros Colorados-Planicie Banderita. Este embalse tiene como principal objetivo la regulación de caudales máximos que podrían afectar a la ciudad del Neuquén y como otros objetivos, la generación hidroeléctrica y el riego.

La cuenca del río Neuquén presenta un régimen hidrológico de tipo pluvionival con año hidrológico abril-marzo y el hidrograma mensual muestra la presencia de estacionalidad en las series de caudales (*figura 1*).

La metodología aplicada consistió en analizar la presencia de tendencias en distintas series de caudales, y aplicar dos modelos matemáticos asociados. El primero de generación de variables de entrada al sistema hidrológico (precipitación y temperatura), y el segundo de balance precipitación-caudal para estimar el efecto que distintas modificaciones en las series temporales de precipitación y temperatura, tienen sobre el caudal directo y las distintas variables de estado del modelo.

En la figura 2 se presentan los histogramas de los caudales medios anuales que muestran la sensibilidad del sistema hidrológico a distintos escenarios que incluyen incrementos en la temperatura y disminución de la precipitación. En este experimento se observa la sensibilidad del sistema hidrológico a los cambios en las dos variables a escala mensual que fueron simuladas con un modelo multivariado autorregresivo (Seoane et al., 2005).

La prueba no paramétrica de Mann-Kendall fue aplicada para la detección de tendencia, utilizando una modificación que resuelve la influencia de la autocorrelación de los datos en los resultados. La prueba fue aplicada para identificar la presencia de tendencias en las series de caudales máximos, medios y mínimos anuales.

Otra aplicación de la misma prueba para el análisis de los caudales medios anuales, que indican el comportamiento hidrológico promedio, muestra cambios decrecientes en la serie de caudales observados en la estación Paso Limay en la cuenca del río Limay. Esta es una cuenca importante de la Patagonia dado que en ella se han construido la mayor cantidad de obras de generación hidroeléctrica y de control de crecidas, que representan el 43% de la potencia hidroeléctrica instalada en el país (Secretaría de Energía, 2004).

Un análisis más extenso realizado con la información hidrológica observada en cuencas de la Patagonia (II Comunicación Nacional, 2006) señala la presencia de tendencias decrecientes, estadísticamente significativas, en las series de caudales mínimos en Paso de los Indios y Paso Limay; puntos de cierre de las cuencas de los ríos Neuquén y Limay.

El estudio de la presencia de tendencias en las series de caudales mensuales contribuyó a definir la importancia de los posibles cambios en la forma de los hidrogramas observados en los sistemas seleccionados. Se han identificado tendencias significativas en las series de caudales mensuales observados en los distintos sistemas hidrológicos analizados. El caso más concluyente corresponde al río Limay, donde se han identificado tendencias negativas significativas en las series de caudales observados en el periodo noviembre-marzo.

Se puede señalar que existen otras series analizadas con caudales mensuales con tendencias negativas aunque no significativas: Neuquén (noviembre-abril), Chubut (noviembre-julio) y Santa Cruz (febrero-junio).

El análisis de la evolución de los campos de precipitación estimados para la región con los modelos de circulación general indican una disminución de la precipitación y un aumento en la temperatura para el período octubre-marzo.

Este es el período para el cual se han identificado tendencias que indicarían una disminución de los caudales para la mayoría de los sistemas ubicados al sur del río Colorado.

Comentarios finales

La importancia del análisis de los efectos del calentamiento global sobre los recursos hídricos plantea claramente un desafío para la Hidrología y la Ingeniería. En este sentido, se observa la necesidad de avanzar en el desarrollo de nuevos modelos matemáticos que permitan considerar explícitamente los resultados de los modelos de circulación general.

Estos modelos estiman las variables en escalas espaciales mayores que las utilizadas por los modelos hidrológicos de uso más frecuente para la determinación de los valores extremos de las variables hidrológicas, que se utilizan en la verificación de los parámetros de diseño de las obras hidráulicas.

Los proyectos de Ingeniería que involucran el diseño de obras hidráulicas se construyen para satisfacer distintos requerimientos, las obras de control de inundaciones muestran la necesidad de desarrollar nuevos modelos que permitan contribuir a resolver los problemas que se observan al diseñar obras para condiciones con mayor incertidumbre hidrológica. En este sentido, se deben analizar los conceptos de período de retorno ante la presencia de tendencias en las series temporales, y la existencia de autocorrelaciones significativas en las series de caudales mínimos que también influyen en la relación caudales mínimos anuales-período de retorno.

La necesidad de contar con una estimación precisa de la relación entre los valores extremos de la variable hidrológica seleccionada y su probabilidad de ocurrencia es un tema crucial para la seguridad de las presas actuales. Los caudales de diseño de los vertederos de las presas construidas a principios del siglo XX fueron estimados para condiciones hidrológicas pasadas y con métodos hidrológicos obsoletos.

Por lo tanto, la construcción de nuevas obras hidráulicas y la verificación de las actuales hace necesario contar con estudios de frecuencia, intensidad y duración de distintos eventos hidrológicos para condiciones hidrológicas presentes y futuras. También, en la planificación hídrica se necesita contar con estimaciones que consideren las condiciones

futuras de los recursos hídricos. En la planificación de la operación de sistemas hidrológicos complejos la presencia de tendencias que indican posibles caudales decrecientes en algunos meses del año podría influir sobre la generación hidroeléctrica en la Patagonia.

En conclusión, es necesario contar con mejor información hidrológica para poder evaluar la presencia de cambios y disponer de nuevos modelos y de métodos de análisis para enfrentar la situación que plantea el cambio de una hipótesis fundamental del diseño de obras hidráulicas en Ingeniería. Es decir, que las características estadísticas de las series utilizadas en el diseño de obras hidráulicas no son constantes en el tiempo.//

Bibliografía

Clarke, R. T. (2006): "Análisis estadístico de eventos extremos en un contexto no estacionario", en El cambio climático en la cuenca del Plata. Editores Vicente Barros, Robin Clarke, Pedro Silva Dias. Capítulo V, págs. 209-226.

Dawdy, D.R. (2007): "Prediction versus Understanding". Journal of Hydrologic Engineering. ASCE.

Meigh, J.R. & F.A. Farquharson and J.V. Sutcliffe (1997): "A worldwide comparison of regional flood estimation methods and climate". Hydrological Sciences Journal 42 (2) 225-244.

Seoane, R., J. Valdés and L.J. Mata (2005). "Climate variability and climate change in Patagonian rivers". En Regional Hydrological Impacts of Climatic Change Impact Assessment and Decision Making. Edited by Stewart Franks, Thorsten Wagener, Eva Bøgh, Hoshin V. Gupta, Luis Bastida & Carlos Nobre & Carlos de Oliveira Galvão Publ. 296. ISBN 1-901502-13-9; 300 pp 26-36.

II Comunicación Nacional del Gobierno de la República Argentina a las partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. V5. Vulnerabilidad de la Patagonia. (2006), Argentina.