

ESTIMACIÓN DE MAPAS DE PELIGROSIDAD MEDIANTE GENERACIÓN DE TORMENTAS SINTÉTICAS

Gianbattista Bussi ⁽¹⁾, Félix Francés ⁽¹⁾, José Luis Salinas ⁽¹⁾, Rafael García-Bartual ⁽¹⁾, Lucas Pujol ⁽²⁾, Vicente Guna ⁽²⁾, Enrique Ortiz ⁽²⁾

(1) Universidad Politécnica de Valencia, España

(2) Hidrogaia SL, España

gbussi@upvnet.upv.es

Introducción

En el ámbito del análisis y gestión del riesgo de inundación, cada vez más legislaciones nacionales e internacionales hacen hincapié en la necesidad de una correcta planificación de los usos del suelo a través de una clasificación del riesgo de inundación basada en la peligrosidad potencial y en la vulnerabilidad de una determinada zona. Un ejemplo es la Directiva Marco del Agua (2007/60) de la Comunidad Europea. Los trabajos realizados hasta ahora en este sentido se basan en su gran mayoría en el concepto de “Tormenta de diseño”, es decir que la probabilidad asociada a una inundación se establece como igual a la frecuencia de la tormenta que lo ha generado. Este enfoque está limitado por la pobre representación espacio-temporal de la precipitación y por no considerar otras variables aleatorias que intervienen en el proceso de formación de una avenida, como el estado de humedad del suelo.

El objetivo de este trabajo es desarrollar una metodología para la estimación de mapas de peligrosidad hidráulica, aprovechando los últimos avances de la modelación hidrológica, a través de la generación de tormentas sintéticas variables en el espacio y en el tiempo y utilizando la modelación hidrológica distribuida. A título de ejemplo, se muestran como caso de estudio los resultados obtenidos en el ámbito de la redacción del Plan Director de defensa contra las avenidas de la Marina Alta y Marina Baja (Alicante, España).

Análisis pluviométrico

El primer paso de esta metodología es el análisis estadístico de las series temporales de precipitación diaria. Para conseguir la máxima fiabilidad en el análisis de la frecuencia de las precipitaciones diarias máximas anuales se ha recurrido a un análisis regional. Tras un estudio comparativo de varias funciones de distribución (figura 1), se ha seleccionado la función TCEV (Rossi et al., 1984) con regionalización Gumbel, que en general es el más adecuado para regiones del Mediterráneo Occidental (Francés, 1998).

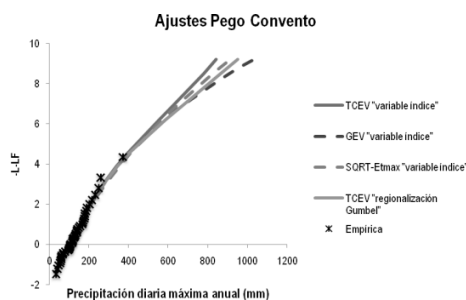


Figura 1.- Ajuste en la estación de “Pego (Convento)”

Generación de tormentas sintéticas

Para la generación de tormentas sintéticas se ha empleado un modelo estocástico espacio-temporal, explotando toda la información disponible, procedente tanto de las redes automáticas de información hidrológica (SAIH) como de la red de radares meteorológicos, para la caracterización de las propiedades estructurales internas del campo de intensidad de precipitación $\zeta(x,y,t)$ durante el evento lluvioso y la estimación de parámetros. Se ha empleado el modelo estocástico propuesto por Salsón y García-Bartual (2003), construido específicamente para la reproducción de los patrones espacio-temporales más característicos, propios de las tormentas extremas de carácter convectivo en regiones mediterráneas. Con ello, se proponen una diversidad de escenarios de lluvia posibles, todos ellos sujetos a una asignación de probabilidad. El periodo de retorno T es estimado a posteriori mediante un análisis estadístico descriptivo de cada uno de los eventos sintéticos seleccionados, y debidamente contrastado con el marco probabilístico definido en el análisis regional previo de los máximos anuales de precipitación diaria. En total fueron generados 368 escenarios de lluvia sobre las comarcas geográficas objeto del estudio.

Modelación hidrológica

El modelo hidrológico conceptual de parámetros físicos y distribuido en el espacio TETIS (Francés et al., 2002, Francés et al, 2007) ha sido calibrado y validado en las estaciones de aforo disponibles a escala de evento ($\Delta t = 10$ minutos), utilizando como datos de input la precipitación de los pluviómetros SAIH. La calibración y validación del modelo ha sido satisfactoria, obteniendo índices de Nash-Sutcliffe superiores a 0.8 tanto en calibración como en casi todas las validaciones espacio-temporales.

Dado que el objetivo de la modelación hidrológica es la simulación de tormentas sintéticas independientes, no queda definido el estado de humedad inicial. Por esta razón, el modelo TETIS ha sido calibrado y validado también a escala de simulación histórica ($\Delta t = 1$ día). Una vez ajustado el modelo diario, se han reproducido las variaciones del estado de humedad del suelo desde 1943 hasta hoy. A través de un análisis de frecuencia del estado de humedad de la cuenca (figura 2), se han determinado tres estados de humedad representativos del comportamiento hidrológico de la cuenca (10%, 40% y 80% de humedad del suelo) y se les ha asignado una probabilidad de ocurrencia.

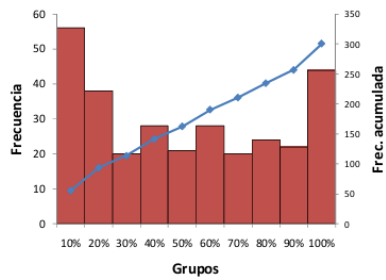


Figura 2.- Análisis de frecuencia de los estados de humedad

Finalmente, en lo que respecta a la modelización hidrológica, el modelo TETIS se ha empleado para simular la transformación lluvia – escorrentía de los 368 eventos sintéticos disponibles, utilizando como estado inicial de humedad cada uno de los tres estados determinados anteriormente, obteniendo así 1104 hidrogramas por cada uno de los más de 200 puntos de simulación hidrológica.

Análisis de frecuencia de caudales máximos

Para la obtención adecuada de probabilidad de no excedencia de las variables de interés (caudal pico de entrada a la zona de inundación, nivel máximo en una presa, etc.) es necesario un tratamiento estadístico. Para ello se considera un modelo estadístico trivariado entre la precipitación diaria máxima anual, el estado de humedad inicial de la cuenca y la variable de interés. En este modo es posible estimar la probabilidad empírica de la distribución marginal de la variable de interés a partir de los valores generados sintéticamente. La ecuación final es la siguiente [1]:

$$F_x(a) \approx \sum_{i=0}^{\infty} \left\{ \frac{n_{ij}(a)}{N_{ij}} [F(R_{i+1}) - F(R_i)] \right\} \quad [1]$$

donde P_j corresponde a la probabilidad de que los almacenamientos en el modelo se encuentren en un estado de humedad j ; $n_{ij}(a)$ = número de observaciones menores o iguales que a , dentro del intervalo i , que cubre el rango $[R_i, R_{i+1}]$ y N_{ij} = número total de observaciones dentro del intervalo i .

Modelación hidráulica

En este estudio se ha llevado a cabo una modelación hidráulica bidimensional de las zonas inundables consideradas. Se ha utilizado el modelo matemático Infoworks RS 2D (Innovyze). El módulo InfoWorks RS 2D utiliza el método de volúmenes finitos para resolver las ecuaciones de flujo de aguas someras. Los modelos digitales del terreno utilizados han sido realizados por medio de tecnología LIDAR, con una resolución de 1x1 m.

La metodología seguida en el proceso construcción del modelo ha sido la siguiente: 1- Composición de la topología del modelo, tratamiento del Modelo de Elevación Digital y generación del mallado triangular irregular; 2- Modelación de las estructuras hidráulicas, en el caso de que existan alcantarillas, puentes o sifones invertidos que afecten los flujos principales; 3- Definición de la rugosidad del suelo a partir de los usos de suelo del CORINE (2006) y actualizado con las ortofotos del PNOA.

Las condiciones de contorno han sido tomadas de los hidrogramas derivados de las simulaciones hidrológicas. No existe un solo hidrograma de diseño; es altamente probable que se puedan generar hidrogramas muy distintos en términos de volumen, tiempo al pico y duración, pero con el mismo caudal pico, que en este caso es la variable de interés. Se ha utilizado el hidrograma cuyo periodo de retorno del caudal pico sea cercano al periodo de retorno que se desea simular (10, 25, 50, 100 y 500 años).



Figura 3.- Mapa de peligrosidad asociado a $T = 500$ años

Conclusiones

Este trabajo se basa en una metodología innovadora para la estimación de mapas de peligrosidad de inundación, que suple las limitaciones de la metodología clásica basada en la Avenida de Proyecto. Los resultados han proporcionado unos mapas de calados máximos con un valor de probabilidad asociado (por ejemplo, figura 3), en términos de periodo de retorno, derivados de la modelación hidráulica bidimensional. Estos mapas indican la peligrosidad de las zonas estudiadas frente a eventos hidrometeorológicos extremos, y son de fundamental importancia en la planificación y en la ordenación del territorio.

Referencias

- Francés, F. (1998). Using the TCEV distribution function with systematic and non-systematic data in a regional flood frequency analysis. *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, v 12 (4), 267-283.
- Francés, F., J. J. Vélez, J. I. Vélez, y M. Puricelli. (2002). Distributed modelling of large basins for a real time flood forecasting system in Spain. *En Proceedings Second Federal Interagency Hydrologic Modelling Conference*. Las Vegas, USA. July 2002.
- Francés, F., J. I. Vélez, y J. J. Vélez. (2007). Split-parameter structure for the automatic calibration of distributed hydrological models. *Journal of Hydrology* 332, 1: 226-240.
- Rossi, F., Fiorentino, M., and Versace, P. (1984). Two-Component Extreme Value Distribution for Flood Frequency Analysis. *Water Resour. Res.*, 20 (7), 847-856.
- Salsón S y García-Bartual R. (2003). A space-time rainfall generator for highly convective Mediterranean rainstorms. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3, 103-114.