

PELIGROSIDAD POR INUNDACIONES EN UNA CUENCA NO AFORADA: EL RÍO SOSA EN MONZÓN (HUESCA) Y EL EVENTO DE AGOSTO DE 2006

Sergio Domenech Zueco

UTE Información Hidrológica Ebro
sdomenech@uteebro.com

Francisco Espejo Gil

Agencia Estatal de Meteorología, Delegación Territorial en Aragón

Alfredo Ollero Ojeda

Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza
aollero@unizar.es

Miguel Sánchez Fabre

Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza
msanchez@unizar.es

Resumen: El casco urbano de Monzón presenta un elevado riesgo de inundación por crecidas del río Sosa, que destaca por su comportamiento hidrológico torrencial (*flash flood*). La crecida más reciente calificable como extraordinaria fue la de agosto de 2006, eligiéndose este evento para modelizar la respuesta hidrológica de la cuenca ante precipitaciones intensas utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG). Así, se han utilizado datos de lluvia real en los modelos hidrológicos y se obtuvo en campo (método geomorfológico) el caudal máximo instantáneo que pudo registrarse en el núcleo urbano, estimándose en 236 m³/s. Tras la crecida se realizó una cartografía de peligrosidad de inundaciones, calculando y representando las zonas inundables para crecidas con distintos periodos de retorno. Los modelos hidráulicos constatan un riesgo elevado, comprobándose que el Sosa puede desbordar la

zona canalizada del tramo urbano para crecidas con periodos de retorno superiores a los diez años.

Palabras clave: crecida relámpago, inundaciones, modelización de cuenca, SIG, peligrosidad, gestión del riesgo.

Abstract: *Flood hazard in an ungauged basin: Sosa River (Monzón, Spain) and the August 2006 flash-flood.* The town centre of Monzón has a high risk of flooding caused by the Sosa River which has a typical torrential behaviour. The most recent flood event defined as extraordinary happened in 2006 and this flood was chosen for the modellization of the hydrological response of the basin to a heavy rain event using Geographic Information Systems (GIS). After this episode, hydrological models were fed with real data of rain and the instant maximum discharge that could be registered in the town centre was calculated by means of the geomorphological method, with an estimated peak of 236 m³/s. After the flood, several maps of hazard showing flooding areas according to different flood return periods were published. Hydraulic models show a high risk and, furthermore, they show that the Sosa River can overflow its present banks along the urban reach if the flood has a return period of ten or more years.

Keywords: flash-flood, flooding processes, basin modellization, GIS, hazard, risk management.

1. Introducción

Numerosos núcleos urbanos se sitúan en áreas inundables constituyendo espacios en riesgo. El caso de Monzón en el río Sosa es uno de los ejemplos más destacables en el contexto de Aragón (Domenech *et al.*, 2008). La ciudad de Monzón, capital de la comarca aragonesa del Cinca Medio, contaba en 2009 con 17.042 habitantes censados.

El río Sosa nace a 1.060 m en la Sierra Carrodilla (Sierras Exteriores Pirenaicas) y recorre 34,6 km salvando un desnivel de 810 m. En su cabecera discurre por un valle estrecho con fuerte pendiente y en su tramo medio presenta un cauce de gravas, seco en verano, que llega a alcanzar 100 m de anchura. Ya en su curso bajo, pero aguas arriba de Monzón, se nutre de algunos manantiales y de retornos de regadío, habiendo sido colonizado totalmente por plantas helófitas que son arrancadas y arras-

tradas por las crecidas. El Sosa drena una cuenca con una superficie de 180,5 km² y vierte sus aguas al río Cinca por su margen izquierda, apenas un kilómetro aguas abajo del casco urbano de Monzón, que por tanto se ubica en el punto más bajo de la cuenca (Domenech, 2009). El tramo urbano montisonense del cauce del Sosa se encuentra en su mayor parte canalizado entre muros verticales.

El funcionamiento hidrológico del río Sosa es natural, careciendo de sistemas de regulación, aunque en su curso bajo recibe aportes procedentes de regadíos que son abastecidos desde el río Ésera a través del Canal de Aragón y Cataluña. Las crecidas del Sosa responden a precipitaciones intensas. La acontecida el 15 de agosto de 2006 ha sido la más relevante de las últimas décadas. La corriente no superó los muros de la canalización urbana, pero el río se desbordó aguas arriba y aguas abajo de ésta, inundando garajes, sótanos, naves y espacios agrarios, provocando cuantiosos daños materiales.

En el análisis de esta problemática se ha contado con la dificultad de la carencia de aforos en la cuenca del Sosa hasta agosto de 2008, cuando se instalaron tres estaciones del sistema SAIH. Por ello se ha modelizado la respuesta lluvia-esorrentía para estimar el comportamiento hidrológico en episodios de crecida. La observación de videos y fotografías de la crecida que tuvo lugar el 15 de agosto de 2006 ha permitido reconstruir algunas características del evento, utilizado como caso real clave para comprender y cotejar el funcionamiento modelizado.

2. Metodología

Para analizar la respuesta hidrometeorológica de la cuenca del Sosa se han utilizado modelos hidrológicos y meteorológicos, como los HIRLAM 0,5 y 0,2 de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

La modelización mediante SIG ha implicado dos fases metodológicas. La primera es la generación de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de la cuenca a partir de datos altitudinales (curvas de nivel). La segunda fase ha consistido en la edición y extracción de parámetros hidrológicos a partir de este MDE y la aplicación de un modelo hidrometeorológico para estimar caudales de crecida. Así, se han delineado los cauces y cuencas de manera automática para refinar después algunos parámetros hidrológicos de la cuenca y el cauce antes de exportar todo ello al software HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center, Hydrologic Modeling System*) de modelización hidrológica (USACE, 2000). Para ello, se ha empleado un amplio abanico de metodologías SIG del entorno ArcGIS y ArcView (ESRI).

En HEC-HMS se ha modelizado la respuesta hidrológica del Sosa para el evento de crecida considerando distintas variables, como el régimen pluviométrico de la tormenta, los parámetros que condicionan las crecidas y los factores que definen la cuenca. Se ha empleado el método de conversión lluvia-caudal del hidrograma unitario. Se trata de un hidrograma sintético de carácter adimensional que queda definido por el tiempo de demora, definido como el tiempo desde que deja de llover hasta que se alcanza el máximo caudal en el hidrograma.

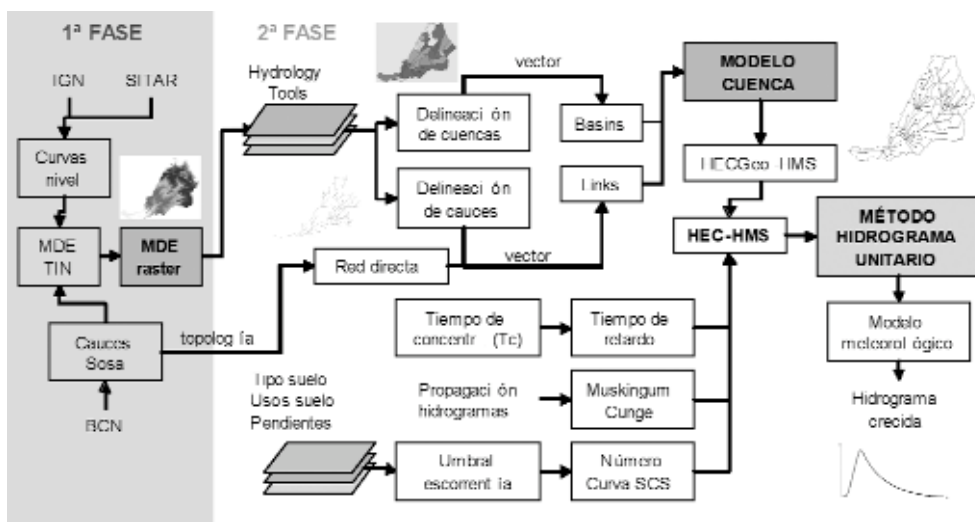


Figura 1. Metodología seguida en la modelización hidrometeorológica.

El caudal de crecida modelizado se ha intentado validar con el método hidráulico-geomorfológico, estimando el caudal que pudo circular en la sección canalizada del río en Monzón. Por último, la cartografía de zonas inundables en el núcleo urbano se ha generado mediante modelos hidráulicos de régimen estacionario, obteniendo así láminas de inundación con diferentes probabilidades de ocurrencia.

3. La crecida de agosto de 2006

El evento reciente de crecida más importante registrado en la cuenca se produjo el 15 de agosto de 2006, cuando la cuenca aún no estaba aforada, por lo que para

entender la respuesta hidrológica de la misma es necesario conocer las causas atmosféricas desencadenantes de las precipitaciones y la posterior modelización de dicho evento de crecida.

3.1. Contexto meteorológico

El evento de crecida del Sosa de agosto de 2006 se produjo por una precipitación intensa típicamente estival en el nordeste peninsular (Espejo, 2008). La severidad de su carácter hace sospechar de un origen compuesto por causas mesoescalares y sinópticas, es decir, por factores locales-regionales y de mayor escala.

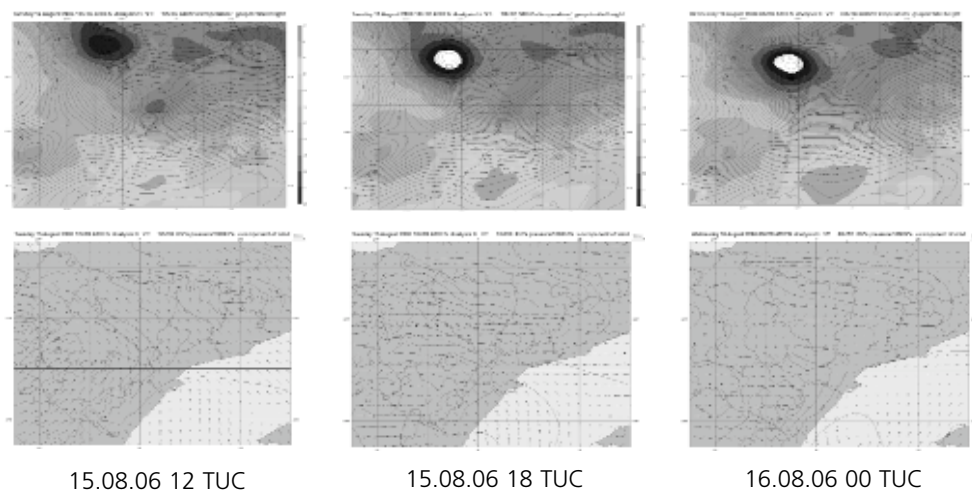


Figura 2. Contexto sinóptico (fila superior: temperatura y geopotencial en 500 hPa) y mesoescalar (fila inferior: presión reducida al nivel del mar y vientos en superficie) desde las 12 TUC del 15 de agosto a las 00 TUC del 16 de agosto de 2006. Fuente: AEMET, elaboración propia.

En la figura 2 se aprecia una ondulación del flujo sobre el Mar Cantábrico a las 12 TUC en el nivel de 500 hPa (aprox. 5500 m) que progresa hacia el norte peninsular durante las horas siguientes. Esta onda corta aporta inestabilidad (dinámica, por difluencia en los niveles altos, y térmica, por el embolsamiento de aire frío que aporta) y su paso sobre el área de interés coincide con la generación de la actividad convectiva que dará lugar a la crecida. En niveles bajos la presencia de vientos del sureste aporta humedad y calor del Mediterráneo a la cuenca del Cinca. Una vez producido el paso de la onda corta en altura, cambia el régimen de vientos, que pasan a ser del NE en superficie, como reflejan los mapas de las 00 TUC.

La secuencia de imágenes del radar de AEMET en Monte Oscuro (Sierra de Alcubierre, Zaragoza) indica que ya desde la mañana se venían generando núcleos convectivos aislados sobre los Pirineos, La Rioja y Navarra. A primeras horas de la tarde, los núcleos aislados comienzan a aparecer también en el sector aragonés de la depresión del Ebro y, a partir de las 17 h. l. (15 TUC) la convección se organiza en una línea de núcleos más activos e intensos que recorre la provincia de Huesca de oeste a este (figura 3), coincidiendo con el paso en altura del eje de la onda mencionada anteriormente y con la máxima eficiencia de suministro de flujo mediterráneo húmedo y cálido en los niveles bajos. Los sistemas convectivos se organizaron en dos etapas: una primera de núcleos más aislados y activos, uno de los cuales se desarrolló sobre la cuenca del Sosa durante unos 45 minutos, y una banda posterior más organizada pero de menos intensidad que afectó menos al área de interés. Aunque es difícil cuantificar con precisión precipitaciones tan intensas y localizadas, los pluviómetros de la zona (Monzón-SAIH) registraron 33 mm entre las 17:45 y las 18:15 h. Indirectamente (acumulación radar, figura 3) se puede suponer que en la cuenca del Sosa éstas pudieron alcanzar máximos puntuales del orden de 40 mm o superiores, lo que en tan corto periodo de tiempo es suficiente para producir una crecida en una cuenca relativamente pequeña. Buena parte de estas precipitaciones fueron en forma de granizo, dificultando aún más la estimación de la precipitación total.

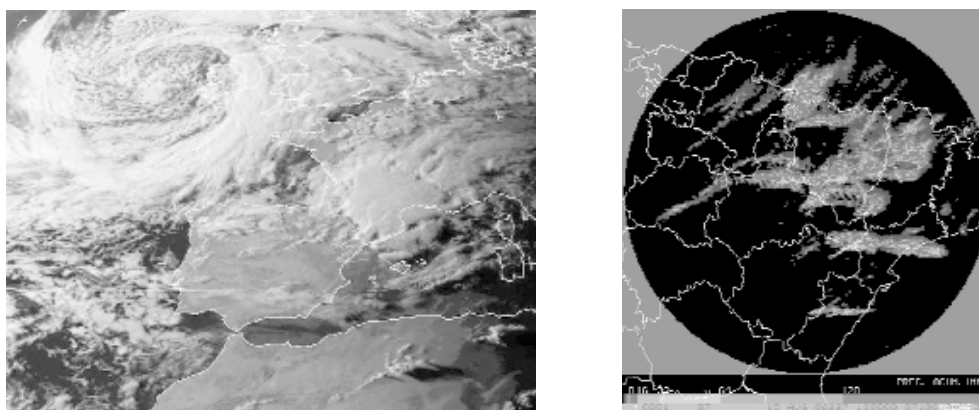


Figura 3. (Izda.) Imagen del satélite Meteosat del 15 de agosto de 2006 a las 18 TUC que muestra la banda de núcleos convectivos causantes de la crecida (en este momento ligeramente desplazados ya hacia el este). (Dcha.) Acumulación estimada de precipitación por el radar de Zaragoza durante el periodo transcurrido entre las 12 y las 18 TUC del 15 de agosto de 2006. Fuentes: EUMETSAT y AEMET.

3.2. Progresión hidrológica de la crecida

La respuesta de la cuenca ante la caída de dichas precipitaciones no se hizo esperar, y los mecanismos de escorrentía en la parte alta, zona de fuertes pendientes y red de drenaje bien jerarquizada, generaron un súbito y repentino aumento de caudal. La crecida se detectó en el tramo medio de la cuenca en torno a las 19 h., haciéndose un llamamiento a Protección Civil, ya que ésta se preveía catastrófica para la población de Monzón.

A pesar de contar con referencias concretas respecto a la progresión de la crecida, no se puede hacer un estudio en profundidad de los tiempos de tránsito de la misma ni de los caudales circulantes al carecer entonces la cuenca de estaciones de aforo. Por ello, para comprender la respuesta hidrológica de la misma es necesario crear un modelo de cuenca para después simular su comportamiento hidrológico en el evento de agosto de 2006.

3.2.1. Creación del modelo de cuenca

El primer paso para comprender la respuesta hidrológica del río Sosa en el evento ha sido la creación de un modelo de cuenca implementado mediante herramientas SIG (ArcGIS 9.1). La creación de un Modelo Digital del Terreno (MDT) de la zona de estudio permite interpretar la topografía del lugar y comprender las características de la red de drenaje que definen la cuenca y otros parámetros del relieve derivados (pendientes, etc.). Se han empleado curvas de nivel en formato digital con equidistancia de 10 m (MTN 1:25.000). Este modelo tiene una estructura de datos TIN (*Triangular Irregular Network*) construido con la extensión *3D Analyst*. Posteriormente el MDT se ha convertido a *raster* con una resolución del píxel de 10 m.

A continuación se han delineado cuencas y cauces con el MDT utilizando distintas herramientas de análisis *raster* (*Hydrology tools* y *ArcHydro Tools 1.2*). El proceso ha consistido en determinar la dirección de flujo de cada celda del MDT y la posterior acumulación del flujo de estos píxeles para definir así los cauces y las subcuencas. Finalmente, estas entidades se han convertido a formato vectorial. Estos análisis modificaron las alturas originales del MDT convirtiéndose así en un MDE (figura 4).

3.2.2. Modelización hidrológica de caudales de crecida: método del hidrograma unitario

Se ha implementado un modelo hidrometeorológico que estima caudales de crecida con el software HEC-MHS 3.3 (USACE, 2008), estructurado en tres componentes:

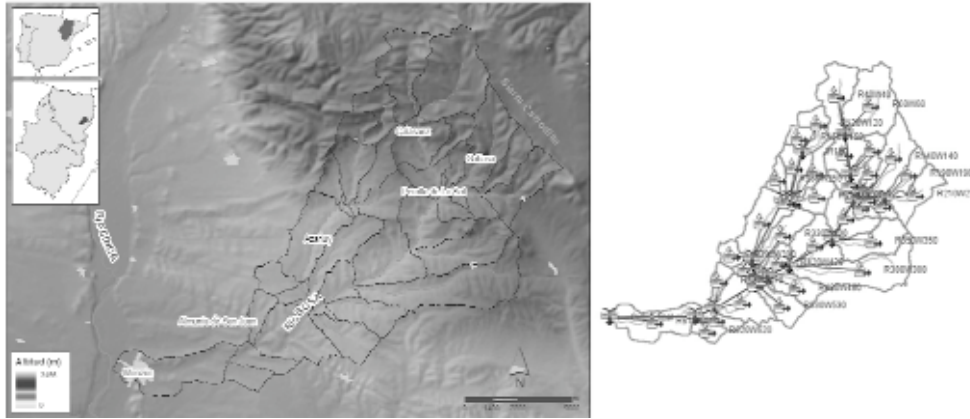


Figura 4. Cuenca del Sosa (izda.) y aspecto del esquema de la cuenca en HEC-HMS (dcha.).

modelo de cuenca, modelo meteorológico y especificaciones de control. Para conectar el modelo de cuenca desde ArcView 3.2 con HEC-HMS se ha utilizado el software HEC-GeoHMS 1.1 (USACE, 2003).

Uno de los parámetros esenciales para la simulación hidrológica está relacionado con la determinación de la precipitación eficaz, o fracción de lluvia que genera escorrentía superficial, escogiendo para ello el método del número de curva (CN, a partir de ahora), propuesto por el *Soil Conservation Service (SCS)* del Dpto. de Agricultura de los EE.UU. Este método permite establecer relaciones fiables que ligan las características de una cuenca dada con el valor del número de curva correspondiente (Marquínez *et al.*, 2006), cuantificar las abstracciones iniciales (intercepción, retención, infiltración) y, consecuentemente, la precipitación eficaz. Este parámetro depende de la permeabilidad que, a su vez, es función de las características litológicas y edafológicas del suelo, de la cubierta vegetal y de los usos del suelo presentes.

La capa *raster* obtenida con el número de curva de la cuenca resulta de la combinación de capas de tipos de suelos, de usos del suelo y de las pendientes de la cuenca. A su vez, cada una de ellas fue editada y procesada a partir de distintas fuentes de datos. Los tipos de suelo se extrapolaron a partir de capas vectoriales de litología superficial de la Confederación Hidrográfica del Ebro, ya que en España no existe una cobertura vectorial del tipo de suelo a la escala de cuenca requerida en la investigación. Para el análisis de los usos del suelo en la cuenca se descargó una capa vectorial del proyecto *Corine Land Cover (CLC)*, reclasificando estas categorías a las clases del método del número de curva: barbecho, cultivos en hilera, cereales de invierno, rotación de cultivos pobres, rotación de cultivos densos, praderas, planta-

ciones regulares, masas forestales, zonas permeables y zonas impermeables. El último factor que determina el número de curva es la pendiente del terreno, considerándose al respecto dos clases diferentes: inferiores al 3% y mayores o iguales al 3%. Para ello, se calcularon las pendientes en la cuenca con la función *Slope* de *Spatial Analyst*. Estas tres capas se convirtieron en formato *raster*, reclasificándolas e integrándolas para extraer finalmente el valor de número de curva medio de cada subcuenca.

Para la propagación de los hidrogramas de crecida por la red de drenaje se empleó modelo de onda cinemática de Muskingum-Cunge (Marquínez *et al*, 2006). Todos los datos que el modelo requiere (longitud y pendiente del tramo, pendiente de las paredes del canal, etc.) se codificaron en el proyecto de ArcView.

Un parámetro esencial en la investigación es el tiempo de concentración de cada una de las subcuencas. Se trata del tiempo que tarda en llegar a la sección de salida la gota de lluvia caída en el nacimiento del cauce de una cuenca. Éste se calculó de forma semiautomática a partir de los parámetros de longitud de cauce y desnivel en cada tramo, utilizando el método propuesto por Témez (Ferrer, 1993): $T_c = 0,3 [(L/J^{1/4})^{0,76}]$, siendo T_c el tiempo de concentración en horas, L la longitud del cauce en km y J la pendiente media en m/m.

Con estos parámetros del modelo de cuenca se hizo la simulación hidrometeorológica en el entorno del software HEC-HMS, eligiendo el método del hidrograma unitario del SCS (USACE, 2008) como método de transformación escurrentía-caudal.

Posteriormente se codificaron los parámetros del modelo meteorológico utilizando datos de precipitación real registrados por la red SAIH Ebro, con una resolución temporal de 15 minutos. El único pluviómetro en la cuenca está en su parte baja. Se ingresó la hora de inicio de la lluvia y los datos de precipitación registrados. Finalmente, hubo que configurar las especificaciones de control en HEC-HMS que establecen la duración de la simulación y el intervalo temporal de cálculo. Se eligió un intervalo de tiempo de un minuto (que siempre debe ser inferior al menor tiempo de concentración de cualquiera de las subcuencas) y la duración, cuatro horas más desde que termina la simulación de lluvia (de las 20:15 hasta las 00 h.) para poder recoger en el caudal de base los flujos que se generan en cabecera.

Sin embargo, los resultados de esta modelización no han resultado satisfactorios. A pesar de las especificaciones del modelo y de las consideraciones iniciales que se tuvieron en cuenta extrayendo parámetros de cauce y de cuenca desde el SIG, el modelo hidrológico subestima los caudales de crecida, pues el máximo real de caudal fue muy superior a los 20 m³/s estimados con HEC-HMS (figura 5). Por el contrario, el hidrograma de crecida sí que registra los impulsos de caudal de las subcuencas de cabecera del Sosa que aportan sus aguas altas con posterioridad al primer pico de crecida.

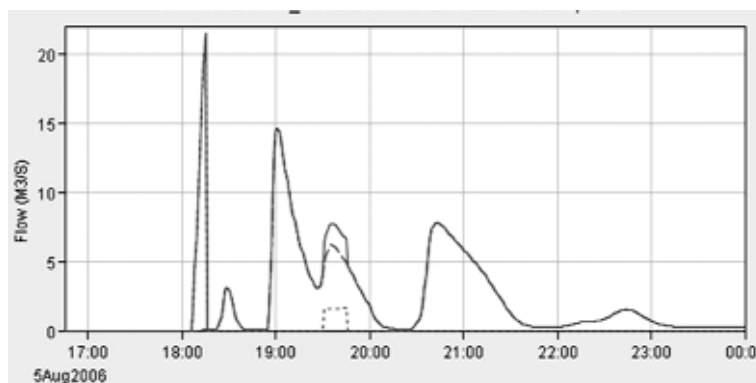


Figura 5. Hidrograma de crecida del Sosa (agosto de 2006) modelizado con lluvia real.

3.3. Consecuencias de la riada

La crecida extraordinaria que experimentó el río el día 15 de agosto generó daños importantes en Monzón, inundando garajes, calles y comercios, con pérdidas que ascendieron a unos 500.000 euros. La fuerza de la corriente arrastró vehículos que se encontraban cercanos al cauce (se contabilizaron hasta cinco) aunque, al menos, no hubo que lamentar daños personales. Se colapsaron algunos viales de Monzón teniendo que cortar el acceso al tráfico rodado a los puentes sobre el Sosa como medida de precaución. La crecida de 2006 tuvo también consecuencias en el debate político y medioambiental respecto a las medidas para reducir los daños de futuras riadas.

La reciente canalización que se había completado en el Sosa en el tramo urbano de Monzón contuvo las aguas en la mayor parte del recorrido. Según la aplicación del método hidráulico-geomorfológico al punto crítico encontrado en el centro de la canalización, con una sección de 76 m^2 , ésta tiene capacidad para un caudal de $344 \text{ m}^3/\text{s}$. Aplicando el mismo método a evidencias post-crecida y con el apoyo de imágenes de video tomadas durante la crecida, puede estimarse en $236 \text{ m}^3/\text{s}$ el caudal punta que circuló en la avenida de agosto de 2006.

La crecida supuso la reactivación de los mecanismos hidrogeomorfológicos del sistema fluvial, algunos de los cuales sólo se ponen en marcha con altos volúmenes de caudal, como los cambios de trazado del cauce o el arrastre de vegetación inerte y la consiguiente regeneración del hábitat físico. El material sólido que se arrastró en la crecida supuso un aporte muy importante de sedimentos a su colector, el río Cinca,

que con la regulación de embalses que sufre en cabecera (Mediano-El Grado) cuenta con un notable déficit de sedimentos. Del mismo modo, la ocupación de la llanura de inundación del Sosa en este evento supuso un aporte de finos y material sedimentario en las zonas aledañas añadiendo fertilidad al sustrato.

4. Cartografía de zonas inundables y gestión del riesgo post-crecida

A raíz de la crecida de agosto de 2006 y de la problemática que suscitó su gestión, la Confederación Hidrográfica del Ebro dirigió el estudio “Zonas inundables del río Sosa entre Peralta de la Sal y el río Cinca y del barranco de Azanúy (Huesca)”, con el objetivo de estimar las zonas potencialmente inundables para crecidas con distintos periodos de retorno.

La realización de cartografía de zonas inundables consta de dos fases bien diferenciadas: la elaboración de un MDE de la cuenca de alta resolución topográfica (LIDAR) y la modelización hidráulica de caudales de crecida. El estudio presenta las láminas de inundación para crecidas con distintos periodos de retorno y la delimitación de las zonas potencialmente inundables en municipios como Monzón (figura 6).

Las zonas más expuestas a las inundaciones por desbordamiento se encuentran en el tramo bajo, próximas a la desembocadura, donde se registran mayores caudales circulantes y el mayor riesgo de inundación atendiendo a la población y los usos del suelo. Las confluencias con barrancos laterales son otras de las zonas más sensibles a desbordarse y a generar cambios sedimentarios y morfológicos.



Figura 6. Zonas inundables en Monzón (en rojo: delimitación del Dominio Público Hidráulico).

A raíz de la crecida de 2006 se iniciaron distintas acciones con el fin de minimizar los riesgos de inundación: monitorización de los caudales de la cuenca en tiempo real (tres nuevos aforos), nuevas canalizaciones del curso aguas arriba de Monzón (2ª y 3ª fases de encauzamiento del Sosa en Monzón), además del mencionado estudio de zonas inundables del Sosa desde su confluencia con el barranco de Azanúy para crecidas con distintos periodos de retorno. Junto a ello se efectuaron en 2009 labores de mantenimiento del cauce en la zona: limpieza de vegetación, retirada de una acequia y acondicionamiento de un vado.

En cuanto a la gestión del riesgo, al margen de que el organismo de cuenca puede plantear en el futuro medidas estructurales, desde el presente trabajo se propone la integración de las zonas inundables del Sosa en el PGOU de Monzón (apoyada en la cartografía de riesgo), planificar y controlar los usos del suelo en las zonas inundables, educar a la sociedad en el riesgo, y redactar un plan local de emergencia y evacuación ante inundaciones que se sume a los planes comarcales de protección civil. El problema de la invasión del cauce por cañas y carrizos aguas arriba de Monzón, derivado de la abundancia de nutrientes procedentes de los retornos de riego, debería ser solucionado por el propio río con crecidas geomórficas como la de 2006, pero ninguna ha tenido lugar desde esa fecha.

Adicionalmente, el mapa de zonas inundables debería completarse con otros de calados, velocidades de las crecidas y geomorfología de la llanura de inundación, aspectos a tener en cuenta en todo mapa de peligrosidad de inundaciones. Igualmente, habría que incluir los bienes y personas expuestas a las inundaciones para obtener así finalmente un mapa integrado de riesgo, donde también se considere la vulnerabilidad de las infraestructuras, bienes y servicios de la comunidad ante estos eventos.

5. Conclusión

Si no se cuenta con estaciones de aforo resulta muy problemático reconstruir los caracteres de funcionamiento de una cuenca, tanto en su comportamiento general como en eventos concretos. En el caso del río Sosa se ha trabajado con toda la información disponible y se han aplicado metodologías hidrometeorológicas, hidrológicas e hidráulico-geomorfológicas que han aportado un buen conocimiento de la cuenca y de la problemática del cauce en el núcleo de Monzón. Sin embargo, los resultados obtenidos revelan bien que el modelo es insatisfactorio para reproducir una crecida real en una cuenca relativamente pequeña de estas características, bien que la precipitación real ha sido muy subestimada, o bien una combinación de ambos factores.

En presencia de fenómenos tan poco lineales, una pequeña variación en las condiciones iniciales, por ejemplo la precipitación, produce grandes variaciones en el caudal de respuesta (Amengual *et al.*, 2008; Amengual *et al.*, 2007; Koutroulis y Tsanis, 2010).

Se ha evidenciado la necesidad de una gestión integral de los riesgos de inundación en la cuenca, debido a la dificultad de predicción de las crecidas, la rápida respuesta del sistema ante un evento de precipitaciones y la creciente presión humana en la zona baja de la cuenca.

Agradecimientos

La presente investigación fue financiada por la XXIII Beca “Ciudad de Monzón” otorgada por el Centro de Estudios de Monzón y Cinca Medio (CEHIMO) en diciembre de 2008.

Referencias

- Amengual, A., Romero, R. y Alonso, S. (2008). Hydrometeorological ensemble simulations of flood events over a small basin of Majorca Island, Spain. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 134, 1221-1242.
- Amengual, A., Romero, R., Gómez, M., Martín, A. y Alonso, S. (2007). A Hydrometeorological Modeling Study of a Flash-Flood Event over Catalonia, Spain. *Journal of Hydrometeorology*, 8, 282-303.
- Doménech, S. (2009). *Peligrosidad de Inundaciones del Río Sosa (Monzón, Huesca): Modelización, cartografía y propuestas de actuación*. Proyecto Fin de Diploma de Especialización en Ingeniería Fluvial, Área de Mecánica de Fluidos, Universidad de Zaragoza. 92 p.
- Doménech, S.; Ollero, A. y Sánchez Fabre, M. (2008). Núcleos de población en riesgo de inundación fluvial en Aragón: diagnóstico y evaluación para la ordenación del territorio. *Geographica*, 54, 17-44.
- Espejo, F. (2008). Hacia una tipología de inundaciones en la cuenca del Ebro en función de sus causas atmosféricas. *Geographica*, 53, 73-100.
- Ferrer, F. J. (1993). *Recomendaciones para el Cálculo Hidrometeorológico de avenidas*. Madrid, CEDEX, Ministerio de Obras Públicas, 75 p.
- Koutroulis, A.G. y Tsanis I. K. (2010). A method for estimating flash flood peak discharge in a poorly gauged basin: Case study for the 13-14 January 1994 flood, Giofiros basin, Crete, Greece. *Journal of Hydrology*, 385, 150-164.

- Marquínez, J., Lastra, J. y Fernández, E. (2006). Metodología utilizada para cartografiar la peligrosidad de inundaciones en las cuencas del Norte. En Díez Herrero, A., Laín Huerta, L. y Llorente Isidro, M. (Eds) *Mapas de peligrosidad de avenidas e inundaciones. Métodos, experiencias y aplicación*, 125-141, Madrid, Instituto Geológico y Minero de España.
- USACE (2000). *Hydrologic Modelling System HEC-HMS. Technical Reference Manual*. US Army Corp of Engineers. 157 p.
- USACE (2003). *Geospatial Hydrologic Modelling Extension HEC-GeoHMS User's Manual*. Version 1.1. US Army Corp of Engineers. 197 p.
- USACE (2008). *Hydrologic Modelling System HEC-HMS. User's Manual. Versión 3.3*. US Army Corp of Engineers. 178 p.