

APLICACIONES DE LOS SIG AL ANÁLISIS Y GESTIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIONES: AVANCES RECIENTES

Miguel Llorente Isidro, Andrés Díez-Herrero y Luis Laín Huerta

Instituto Geológico y Minero de España – MEC. c/Ríos Rosas 23. 28003-MADRID (España). Correo electrónico: m.llorente@igme.es

Resumen

Los Sistemas de Información Geográfica tienen múltiples campos de aplicación en el análisis y la gestión del riesgo de inundaciones fluviales, desde aspectos del estudio de la peligrosidad, como regionalización de datos de precipitación, obtención de parámetros morfométricos y de la red, discretización de parámetros hidrológicos, delimitación de áreas inundables, cartografías de riesgo integradas...; hasta la adopción de medidas de mitigación de carácter predictivo, preventivo o corrector (post-desastre), que comprenden la predicción meteorológica e hidrológica, la ordenación del territorio y los sistemas de aseguramiento, y los planes de protección civil y emergencias. Su empleo supone normalmente un ahorro de tiempo, esfuerzo y una garantía de objetividad y precisión. Recientes avances técnicos, por ejemplo en la conexión de los SIG con los modelos hidrológicos e hidráulicos y en la conexión SIG-Internet, el abaratamiento de los costes y la aparición de nuevas fuentes de información, han facilitado su utilización y les han hecho unas herramientas imprescindibles en la gestión de este riesgo natural.

Palabras clave: *Peligrosidad, Exposición, Vulnerabilidad, Avenidas, Hidrología, Hidráulica*

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son los desastres naturales con mayores repercusiones socio-económicas a nivel global y en lo que se refiere a nuestro país. Así lo ponen de manifiesto recientes estudios realizados por el IGME en colaboración con el Consorcio de Compensación de Seguros, que estiman los costes anuales de estos fenómenos en cifras próximas al 1% del PIB, habiéndose producido más de dos centenares de víctimas mortales en nuestro país durante la última década.

Por este motivo, las diferentes administraciones públicas (estatales, autonómicas y locales) están adoptando, desde hace décadas, diferentes estrategias para mitigar el riesgo o

minimizar los efectos de su consumación. Todas estas medidas de gestión del riesgo (predictivas, preventivas y correctoras) requieren como paso previo y necesario, la realización de un pormenorizado análisis del riesgo, esto es, descomponer la situación potencial de pérdidas en sus elementos constituyentes: peligrosidad o inundabilidad, exposición y vulnerabilidad.

Tanto para realizar las diferentes operaciones y procedimientos del análisis del riesgo, como para el diseño y puesta en práctica de medidas de mitigación, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han manifestado desde hace años como herramientas básicas e imprescindibles, y sus campos y aspectos de aplicación han ido sustituyendo y desplazando antiguas técnicas manuales menos

precisas y más costosas. A ello ha contribuido, como destacan MAIDMENT & DJOKIC (2000) en la introducción de su libro, la ruptura que se está produciendo de las principales 'barreras' que impedían una utilización cotidiana y extensiva de los SIG: escasez de datos disponibles, los altos costes de la tecnología SIG (que los limitaban a las grandes organizaciones en detrimento de las pequeñas empresas), y la falta de formación de la comunidad técnica en el empleo de estas herramientas.

En un trabajo presentado a las 2^{as} Jornadas sobre Sistemas de Información Geográfica en Riesgos Geológicos y Medio Ambiente (Madrid, noviembre 2002), se mostraba un primer repaso sobre los campos y aspectos de aplicación de los SIG al análisis del riesgo de inundaciones fluviales (DÍEZ HERRERO, 2002). En él se pormenorizaban las experiencias e iniciativas de aplicación de los SIG en campos como: regionalización de datos de precipitación (MDT, isoyetas, polígonos de Thiessen), obtención de parámetros morfométricos de interés hidrológico desde el MDE (divisorias, área, pendientes, longitudes de la red...), discretización de parámetros hidrológicos (umbral de escorrentía), interpolación de alturas de lámina de agua en modelos hidráulicos, confección de bases de datos georreferenciadas para inundaciones históricas y paleoinundaciones, edición de cartografías integradas de riesgo, etc.

Habiendo transcurrido más de cinco años desde las citadas Jornadas, el objetivo de este nuevo trabajo es recopilar y comentar algunos de los avances recientes en este tema, con especial hincapié en los desarrollos llevados a cabo en nuestro país de los que hemos tenido conocimiento. Para esta actualización de las aplicaciones se seguirá la misma estructura que el citado artículo, revisando sucesivamente las novedades en el análisis del riesgo (estimación de la peligrosidad, exposición y vulnerabilidad, y la consiguiente integración) y posteriormente las innovaciones en el papel de los SIG en la mitigación (medidas predictivas, preventivas y correctoras).

AVANCES EN EL EMPLEO DE LOS SIG PARA EL ANÁLISIS DEL RIESGO

Las principales novedades y mejoras introducidas por los SIG en el análisis del riesgo

durante los últimos años, se han producido principalmente en el campo del estudio de la peligrosidad o inundabilidad, entendido en sentido amplio (desde las fuentes de información a las cartografías de peligrosidad).

En el caso de la evaluación de la exposición y vulnerabilidad no cabe reseñar muchas innovaciones metodológicas, si bien se han producido ciertas mejoras en las fuentes de información del Catastro en formato digital, que han facilitado su integración y cruce con los otros factores, mediante por ejemplo las nuevas infraestructuras de datos espaciales (IDEs).

Tampoco se han producido novedades en las técnicas y métodos para la integración del riesgo total, basados fundamentalmente en la combinación o superposición basada en la evaluación multicriterio, si bien se han desarrollado algunos casos de interés en nuestro país (análisis de riesgo del plan de protección civil de Castilla-La Mancha).

Aplicaciones en el análisis de la peligrosidad de inundaciones

Las primeras mejoras de utilidad en el análisis de la peligrosidad de inundaciones que se han producido en los últimos años en nuestro país han tenido como protagonistas a los SIG, con avances significativos en la disponibilidad de los datos de partida en el estudio hidrológico de las crecidas y avenidas.

Así, los datos de precipitaciones máximas diarias (con sus relaciones IDF), que clásicamente se obtenían de forma puntual a partir de los datos de estaciones meteorológicas, han pasado a estar disponibles desde aplicaciones basadas en regionalizaciones e interpolaciones soportadas por SIG, que permiten obtener los valores para cualquier punto del territorio. En este campo destacan las siguientes aplicaciones (Figura 1):

- MAXPLUWIN (DGC, 1999), desarrollada por técnicos del CEDEX para la Dirección General de Carreteras, y que parte de datos de precipitaciones máximas de más de 1500 estaciones pluviométricas en la España peninsular, a los que se ha aplicado un análisis estadístico con la función de distribución SQRT-ET_{max}, y regionalizaciones e interpolaciones con SIG de parámetros como la precipitación media y el coeficiente de variación.

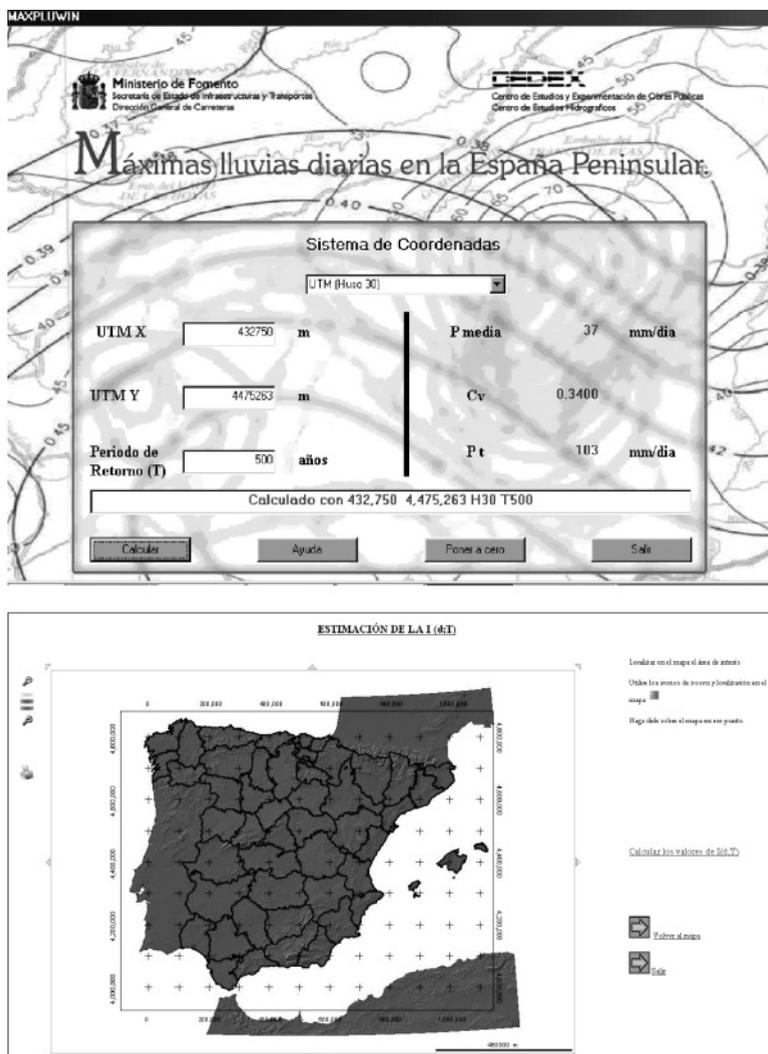


Figura 1. Pantallas principales de dos de las aplicaciones recientes, soportadas por SIG, para el cálculo de valores de precipitaciones máximas en España utilizables en el análisis de la peligrosidad de inundaciones. Arriba, MAXPLUWIN (DGC, 1999). Abajo, MAXIN (SALAS Y CARRERO, 2005, 2006)

- MAXIN (SALAS Y CARRERO, 2005, 2006), desarrollada en la Unidad Docente de Hidráulica e Hidrología de la E.U.I.T. Forestal (Universidad Politécnica de Madrid), que avanza sustancialmente respecto a la anterior la aplicación de mejoras en las curvas IDF en la estimación de los cuantiles (basadas en la tesis doctoral de la primera de las autoras). Además a partir de MAXIN se

ha confeccionado una conexión con productos ESRI (ArcView), denominada AQUALIS (MUÑOZ MARTÍNEZ, 2002), y que permite, entre otras cosas, la obtención de los datos de precipitación no sólo en localizaciones puntuales o zonas preestablecidas, sino para toda un área (p.e. cuenca hidrográfica). Ambos desarrollos pueden descargarse gratuitamente en la dirección web de la E.U.I.T. de

Forestales de la UPM, Unidad de Hidráulica e Hidrología (Figura 1).

(http://www.forestales.upm.es/unidad_enlaces.aspx).

Otro aspecto importante que ha tenido interesantes avances en los últimos años, ha sido la obtención de parámetros hidrográficos (red de drenaje, delineación de cuencas, conectividad...) y morfométricos (longitudes, pendientes...) a partir de los modelos digitales de elevación y el empleo de SIG. En este sentido llama la atención la aparición en el mercado de ArcHydro (MAIDMENT, 2002), una estructura de datos para ArcGIS (ESRI) que conecta los datos hidrológicos con diversos aspectos de la modelización de los recursos hídricos y los métodos de toma de decisiones. La estructura de ArcHydro se apoya en tres pilares básicos (OLIVERA *et al.*, 2006): a) un formato estándar para almacenar la información hidrológica de carácter espacial y temporal; b) el establecimiento de relaciones espaciales lógicas entre los elementos hidrológicos; c) un conjunto de herramientas que permiten la creación, manipulación y visualización de la información hidrológica.

También apoyándose en los SIG se han generado coberturas matriciales, para toda la España peninsular y con resolución espacial de 1x1 km, de parámetros hidrológicos tan importantes como el número de curva (o su correspondiente umbral de escorrentía; FERRER, 2003), mediante la superposición de las variables que intervienen en su estimación pertinentemente reclasificadas: pendiente, vegetación o usos del suelo, y tipo de suelo. A partir de estos valores de umbral de escorrentía transformados a coeficiente de escorrentía, y de los procedentes de las precipitaciones máximas que ofrece MAXPLUWIN, se han elaborado aprovechando las funcionalidades de los SIG (agregación de flujo, medidas morfométricas en cuencas, estimación de valores promedio...), los mapas de caudales máximos esperables mediante el método racional modificado para diferentes periodos de retorno y régimen natural en todas las cuencas españolas (CEDEX; JIMÉNEZ, 2007) y para el territorio de Castilla-La Mancha (DÍEZ *et al.*, 2008); incluso se han estimado ratios entre cuantiles de caudales máximos que sirven de primera aproximación a la mayor o menor probabilidad de desbordamiento en un tramo determinado de la red fluvial (Figura 2), como la relación entre el caudal de 500 años de

periodo de retorno (QT_{500}) respecto al caudal de desbordamiento (*bankfull discharge*, Q_b ; DÍEZ Y GARROTE, *en imprenta*).

La conexión de los Sistemas de Información Geográfica con los modelos hidrológicos e hidráulicos ha sufrido una lógica evolución en la última década: los SIG comenzaron a utilizarse de forma aislada a los modelos, como herramientas para regionalizar, agregar y/o calcular variables y parámetros, usando los resultados como entradas a los modelos; pero últimamente han proliferado las aplicaciones, macros, extensiones o módulos que conectan directamente SIG y modelo, y además en relación biunívoca. En esta línea, surgieron las conexiones entre los programas del HEC (HEC-HMS y HEC-RAS) con los productos ESRI (primero ArcINFO y ArcView y posteriormente ArcGIS), a través de las extensiones HEC-GeoHMS y HEC-GeoRAS, respectivamente. El primero de ellos, HEC-GeoHMS (DOAN, 2003), al igual que su predecesor CRWR-Prepro (OLIVERA & MAIDMENT, 2000), permiten extraer información topográfica, topológica e hidrológica desde un MDE, para luego introducirla en HEC-HMS como ayuda en la elaboración del modelo de cuenca. El segundo, HEC-GeoRAS (ACKERMAN, 2002), permite conectar el SIG y el modelo hidráulico unidimensional en una doble dirección: desde el MDE (TIN) se extrae la información geométrica necesaria (menú PreRAS) que, una vez empleada en HEC-RAS, permite ser de nuevo exportada al SIG para obtener zonas inundables, batimetrías, velocidades... (menú PostRAS).

También todas las aplicaciones para la modelación hidráulica bidimensional se apoyan en los SIG, tanto para dar formato a los datos de entrada, como para la implementación de los cálculos internos y los formatos de salida. Así, algunos de los programas de uso más difundido como MIKE-Flood (y su componente bidimensional MIKE 21), SOBECK, o el español GUAD2D precisan coberturas SIG de entrada (normalmente en formato matricial) con los MDE de alta precisión (procedentes, por ejemplo, de LIDAR) o con parámetros de rugosidad del terreno a la circulación del agua en régimen de lámina libre (valores de n ó m de Manning) (Figura 3).

La última generación en este tipo de desarrollos es la aplicación GeoFIRM (OLIVERA *et al.*,

Exposición total
Población total expuesta (nº habitantes censados)
Permanencia espacial de la población
Densidad de población
Permanencia temporal de la población
Por sectores de edad Por índice de desempleo Por existencia de instituciones educativas Por existencia de campamentos turísticos (campings) Por existencia de residencias de ancianos Por existencia de centros hospitalarios Por existencia de polígonos industriales Por grado de ocupación de la vivienda Por la tipología de vivienda (nº de plantas)
Vulnerabilidad individual
Población especialmente vulnerable
Sectores de edad menor de 5 ó mayor de 65 años Discapacitados Conocimiento del idioma castellano Enfermos y convalecientes (hospitales)
Infraestructuras para vulnerabilidad (paliar o agravarla)
Accesibilidad de los edificios Estado de conservación de los edificios Nº de plantas sobre rasante Nº de plantas bajo rasante
Vulnerabilidad colectiva
Densidad de población por vivienda
<i>Posible interrupción de vías de comunicación</i>
Número de vías por término municipal Número de intersecciones vía-corriente fluvial
<i>Existencia de zonas adecuadas para la evacuación</i>
Pendiente del terreno Distancia a los cauces Distancia a vías de comunicación Distancia a los núcleos de población Tamaño mínimo de la zona necesario

Tabla 1. Listado de variables referidas a la exposición y vulnerabilidad social, útiles en la evaluación multicriterio con SIG para el análisis integrado (junto a la peligrosidad) del riesgo social por inundaciones (DÍEZ *et al.*, 2008)

Todo ello en el ámbito de las técnicas de evaluación multicriterio, y con asignación de pesos en las ponderaciones con métodos de tipo Delphi.

Un ejemplo de estas aplicaciones se ha llevado a cabo en el análisis integrado final del riesgo de inundaciones en los núcleos de población de Castilla-La Mancha, realizado en el ámbito del Plan de Protección Civil de dicha región (DÍEZ *et al.*, 2008; Figuras 5 y 6).

En lo que se refiere a nuevas experiencias en el empleo de los SIG para la gestión de bases de

datos de inundaciones históricas y paleoinundaciones, destacan dos iniciativas que han visto publicados resultados en los últimos años:

- Bases de datos HISTO y PALEO del proyecto europeo SPHERE (CASAS *et al.*, 2004), que recopilaron las inundaciones históricas y las paleoinundaciones respectivamente, en varias cuencas del noreste peninsular (Llobregat, Noguera...).
- Fascículo 1 del Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas (PASCUAL Y BUSTAMANTE,

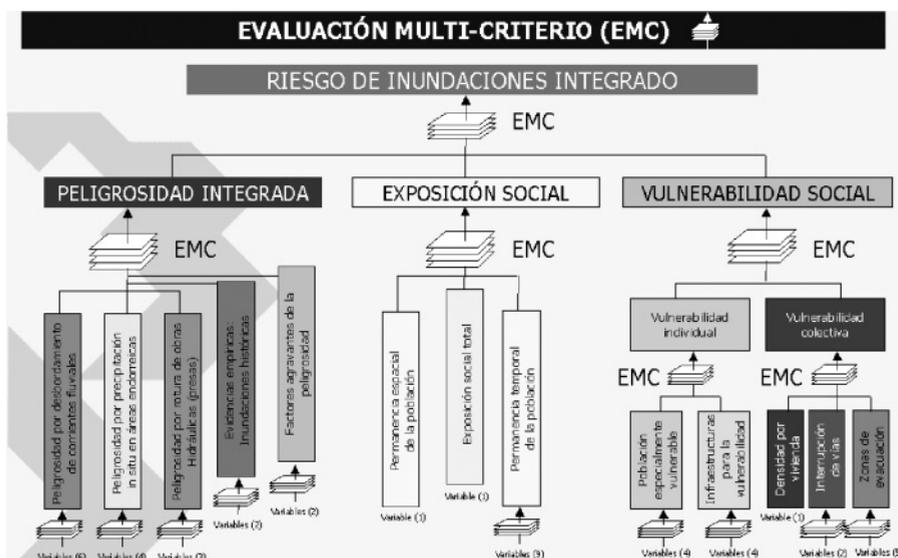


Figura 5. Esquema metodológico empleado en el análisis del riesgo integrado para el Plan de Protección Civil de Castilla-La Mancha ante el riesgo de inundaciones (Díez et al., 2008), empleando evaluación multicriterio (EMC)

2006), publicado por la Dirección General de Protección Civil y Emergencias, y que contempla las inundaciones históricas de las cuencas del Duero, Segura e Islas Baleares.

AVANCES EN EL EMPLEO DE LOS SIG PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO

Entre las diversas estrategias a adoptar para la mitigación del riesgo de inundaciones, destacan en los últimos años los desarrollos llevados a cabo en la aplicación de los SIG para las medidas preventivas de carácter no estructural, y en particular el empleo de los SIG en ordenación del territorio, protección civil y sistemas de aseguramiento.

En el ámbito de la protección civil, los últimos planes de emergencias desarrollados de acuerdo a la Directriz Básica de Planificación emplean los SIG, tanto para el análisis y zonación del riesgo (Díez et al., 2008), como para el diseño de rutas óptimas de evacuación de la población afectada durante la emergencia (Díez y Pérez, 2003; Figura 7).

En el ámbito de la ordenación del territorio, recientemente (noviembre de 2007) la Ministra de Medio Ambiente presentó el nuevo Sistema

Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI), que recopila los trabajos sobre inundaciones ya efectuados y los que se elaboren en el futuro, e implanta una aplicación que facilite su consulta y gestión, incluso a través de Internet; la escala de trabajo seleccionada es 1:5.000, y un plazo temporal de tres años (YAGÜE, 2007). La información puede ser consultada e incluso descargadas las coberturas de los trabajos recopilados en la dirección de Internet: www.mma.es/portal/secciones/acm/aguas_continent_zonas_asoc/prevencion_inundaciones/cartografia_inundables

Agradecimientos

Estos trabajos recopilados y referidos en este artículo han sido realizados en el marco de diversos proyectos técnicos y de investigación del Instituto Geológico y Minero de España (MEC), como “Diseño de una metodología para la realización de cartografía de peligrosidad de inundaciones en función de su aplicación”, “Trabajos de apoyo en cartografía y estudios de peligrosidad y riesgo ante avenidas e inundaciones enmarcados en el plan PRIGEO”, GEORIDA, y RICAM (en convenio de colaboración

con la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha). También participan varios proyectos fin de carrera, como los de Jesús A. Pérez Guerrero y Clara Linés Díaz, a quienes agradecemos la cesión desinteresada de parte del material gráfico. Por último, agradecer a los organizadores de las jornadas SIGTEFOR 2006 su invitación a participar en las mismas, permitiéndonos divulgar y dar a conocer nuestros trabajos más recientes.

BIBLIOGRAFÍA

- ACKERMAN, C.T.; 2002. *HEC-GeoRAS. An extension for support of HEC-RAS using ArcView*. User's Manual. Version 3.1 Hydrologic Engineering Center, USACE, Davis, California (EE.UU.).
- CASAS, A.; BENITO, G.; DÍEZ-HERRERO, A. Y BARRIENDOS, M.; 2004. Management historical and palaeoflood data using a geographical information system. In: G. Benito & V.R. Thorndycraft (eds.), *Systematic, palaeoflood and historical data for the improvement of flood risk estimation: Methodological guidelines*: 103-108. CSIC y Comisión Europea. Madrid.
- DGC; 1999. *Máximas lluvias diarias en la España Peninsular*. Serie monografías, Dirección General de Carreteras (Ministerio de Fomento). Madrid.
- DÍEZ HERRERO, A.; 2002. Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica al análisis del riesgo de inundaciones fluviales. En: L. Laín Huerta (ed.), *Los Sistemas de Información Geográfica en la Gestión de los Riesgos Geológicos y el Medio Ambiente, Serie Medio Ambiente. Riesgos Geológicos 3*: 85-112. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Ministerio de Ciencia y Tecnología. Madrid.
- DÍEZ, A. Y PÉREZ, J.A.; 2003. Los SIGs en el Plan de Protección Civil de Ámbito Local ante el riesgo de inundaciones de Navalunga (Ávila, España). *Seminario Euromediterráneo sobre Nuevas Tecnologías Aplicadas a la Gestión de Desastres. Foro Euromediterráneo sobre Prevención de Catástrofes*. Dirección Gral. de Protección Civil (Ministerio del Interior). Madrid.
- DÍEZ, A.; GARROTE, J.; BAÍLLO, R.; LAÍN, L.; LLORENTE, M.; MANCEBO, M.J. Y PÉREZ, F.; 2008. Análisis del riesgo de inundación para planes autonómicos de protección civil: RICAM. En: I. Galindo, L. Laín y M. Llorente (eds.), *La gestión de los riesgos geológicos*. Instituto Geológico y Minero de España y Consorcio de Compensación de Seguros. Madrid.
- DÍEZ, A. Y GARROTE, J.; (en imprenta). La ratio QT/Qb: un nuevo método hidrológico-hidráulico de fundamento geomorfológico para el estudio de la inundabilidad. En: J. Gracia et al. (eds.), *Trabajos de Geomorfología en España, 2006-2008*. X Reunión Nacional de Geomorfología. Cádiz.
- DOAN, J.H.; 2003. *Geospatial Hydrologic Modeling Extension. HEC-GeoHMS*. User's Manual. Version 1.1 Hydrologic Engineering Center, USACE. Davis, California.
- FERRER, M.; 2003. *Análisis de nuevas fuentes de datos para la estimación del parámetro número de curva: perfiles de suelos y teledetección*. Cuadernos de Investigación C48. CEDEX. Madrid.
- JIMÉNEZ, A.; 2007. El mapa de caudales máximos en España. En: *Jornadas sobre Gestión de Zonas Inundables*. Dirección General del Agua (Ministerio de Medio Ambiente). Gijón.
- LINÉS, C.; 2008. *Cartografía de zonas potencialmente inundables en Valdepeñas (Ciudad Real), comparación de modelos hidráulicos bidimensionales aplicados a cartografía de peligrosidad de inundaciones*. Proyecto Fin de Carrera. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid. Cantoblanco (Madrid).
- LLORENTE, M.; DÍEZ, A. Y LAÍN, L.; 2006. La experiencia del IGME en cartografía de peligrosidad de avenidas torrenciales e inundaciones: de Casiano de Prado a PRIGEO. En: A. Díez, L. Laín y M. Llorente, (eds.) *Mapas de peligrosidad de avenidas e inundaciones. Métodos, experiencias y aplicación*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Serie Medio Ambiente, *Riesgos Geológicos 7*: 41-63. Madrid.

- MAIDMENT, D.R. (Ed.); 2002. *Arc Hydro. GIS for Water Resources*. ESRI Press. Redlands.
- MAIDMENT, D.R. & DJOKIC, D. (Eds.); 2000. *Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Geographic Information Systems*. ESRI Press. Redlands.
- MUÑOZ MARTÍNEZ, J.L.; 2002. *AQUALIS: aplicación sobre el SIG ArcView para el cálculo de precipitaciones máximas diarias en cuencas con MAXPLU*. Proyecto Fin de Carrera, EUIT Forestales. También disponible en Internet en: <http://www.geocities.com/infoaqualis/>.
- OLIVERA, F. & MAIDMENT, D.R.; 2000. GIS Tools for HMS Modeling Support. In: D.R. Maidment & D. Djokic (eds.), *Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Geographic Information Systems*: 85-112. ESRI Press. Redlands.
- OLIVERA, F.; BODOQUE, J.M. & LONGSDON, K.; 2006. Herramientas cartográficas y su conexión con modelos hidrológicos e hidráulicos. En: A. Díez-Herrero, L. Laín y M. Llorente (eds.), *Mapas de peligrosidad de avenidas e inundaciones. Métodos, experiencias y aplicaciones. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Serie Medio Ambiente. Riesgos Geológicos 7*: 143-157. Madrid.
- PASCUAL, P. Y BUSTAMANTE, A. (Coords.); 2006. *Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas. Fascículo I*. Dirección General de Protección Civil y Emergencias, Ministerio del Interior. Madrid, edición en CD-ROM.
- SALAS, L. Y CARRERO, L.; 2005. *Aplicación "MAXIN". Estimación de la intensidad máxima anual en la España peninsular*. E.U. Ingeniería Técnica Forestal (UPM). Madrid. edición en CD-ROM. <http://138.100.95.131/hidraulica/MAXIN/APLICACION/principal.html> (última visita 15-02-2008).
- SALAS, L. Y CARRERO, L.; 2006. *Estimación de la precipitación máxima anual para una duración y periodo de retorno determinados en la España peninsular mediante la aplicación informática MAXIN*. E.U. Ingeniería Técnica Forestal (UPM). Madrid. <http://138.100.95.131/hidraulica/MAXIN/m anual%20de%20usuario.pdf> (última visita 15-02-2008).
- YAGÜE, J.; 2007. El Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. En: *Jornadas sobre Gestión de Zonas Inundables*. Dirección General del Agua (Ministerio de Medio Ambiente). Gijón.

APLICACIONES DE LOS SIG AL ANÁLISIS Y GESTIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIONES: AVANCES RECIENTES

Miguel Llorente Isidro, Andrés Díez-Herrero y Luis Laín Huerta

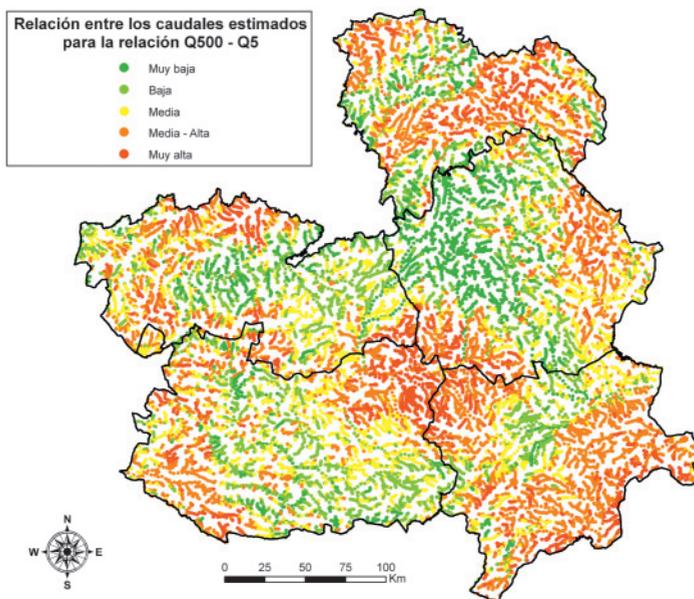


Figura 2. Mapa de la inundabilidad de los tramos de la red fluvial en la comunidad autónoma de Castilla-La Mancha, expresada como clases de la ratio entre el caudal máximo de 500 años de periodo de retorno y el caudal de desbordamiento, estimado en 5 años de periodo de retorno (DÍEZ et al., 2008; DÍEZ Y GARROTE, en imprenta)

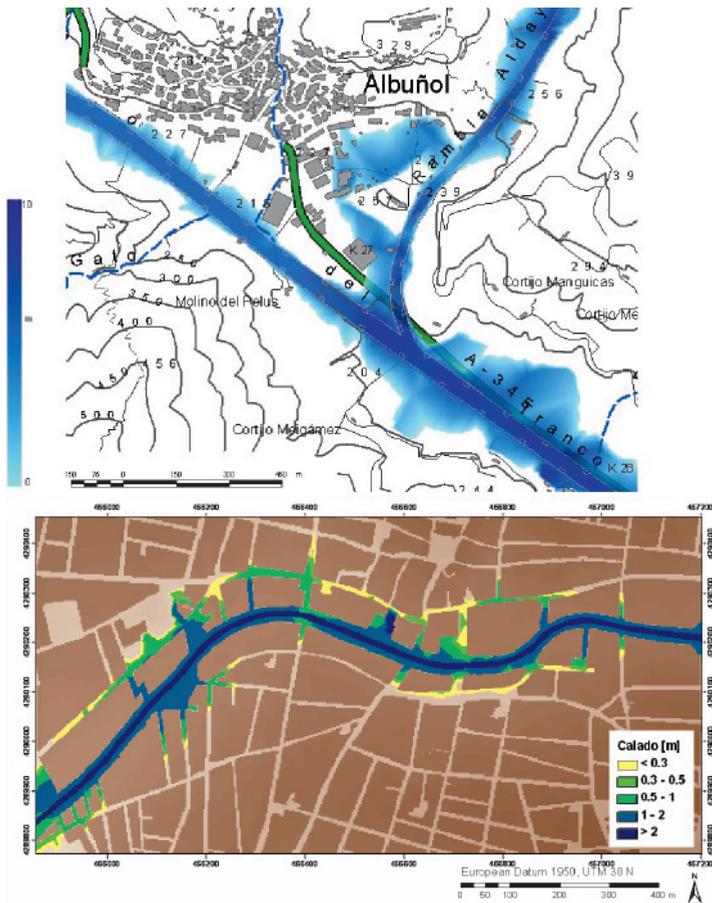


Figura 3. Mapas de batimetría en las zonas inundables de Albuñol (Granada, arriba) y Valdepeñas (Ciudad Real, abajo), obtenidos tanto mediante el uso de la combinación de HEC-RAS con ArcGIS (HEC-GeoRAS, imagen superior; LLORENTE et al., 2006), como con el programa hidráulico bidimensional MIKE-FLOOD (imagen inferior; LINÉS, 2008)

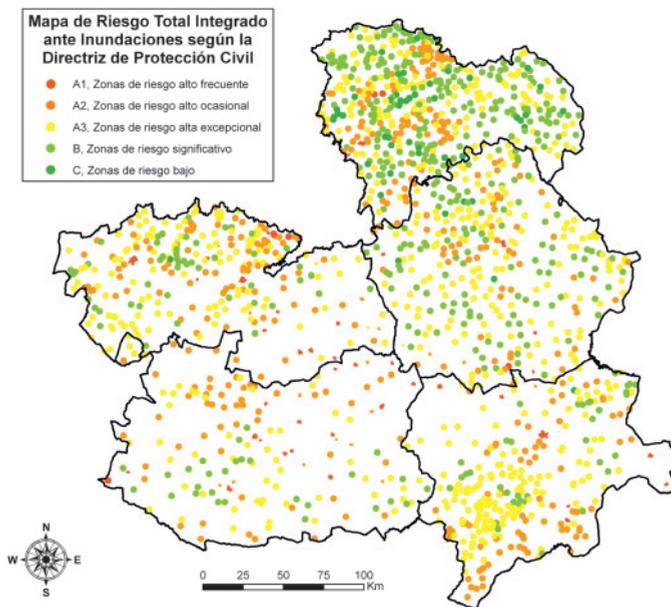


Figura 6. Mapa del riesgo total integrado (social) para los 1495 núcleos de población de Castilla-La Mancha, según los criterios de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil, obtenido empleando evaluación multicriterio (EMC) con SIG (DÍEZ et al., 2008)

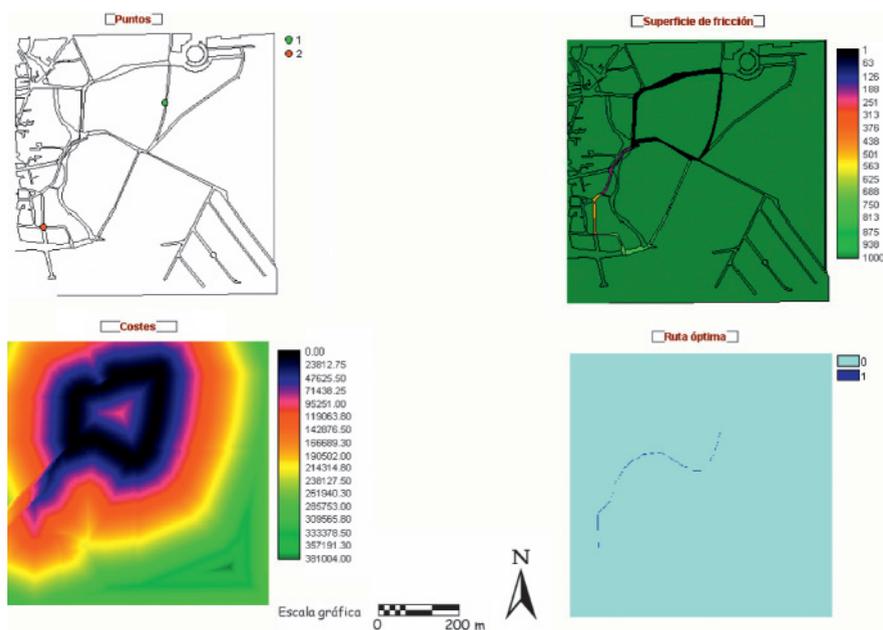


Figura 7. Proceso de obtención automática con SIG de rutas óptimas de evacuación de personas afectadas por emergencias durante una hipotética inundación en Navalunga (Ávila), desde el punto 2 (máxima concentración de personas en riesgo) al punto 1 (lugar de instalación del hospital de campaña). Tomado de DÍEZ y PÉREZ (2003)