

La experiencia del IGME en cartografía de peligrosidad de avenidas torrenciales e inundaciones: de Casiano de Prado a PRIGEO

M. Llorente Isidro, A. Díez Herrero y L. Lain Huerta

1. Recorrido histórico por los trabajos del IGME sobre avenidas e inundaciones

1.1. Los primeros trabajos descriptivos sobre inundaciones

Desde su creación en 1849 como "Comisión encargada de formar el mapa geológico de la provincia de Madrid y el general del Reino", el actual Instituto Geológico y Minero de España (Ministerio de Educación y Ciencia) siempre ha tenido entre sus misiones "... el estudio de los fenómenos naturales en el territorio nacional...", y entre ellos las avenidas e inundaciones fluviales, como recoge su acta fundacional (Real Decreto de 12 de julio de 1849, Gaceta de Madrid nº 5424 de 20-07-1849).

Tanto es así, que en las primeras memorias de la citada Comisión, dentro de los trabajos realizados por las distintas secciones que la integraban (geográfico-meteorológica, geológico-paleontológica, geológico-mineralógica, botánica, zoológica...), ya se recogen noticias y detalladas descripciones de eventos de inundación. Quizás la primera de ellas sea la contenida en la Memoria de los trabajos realizados en 1853, cuando Casiano de Prado describe los efectos de una avenida del río Prádena o San Juan en la provincia de Segovia (Prado, 1853):

"... Los habitantes de la provincia de Segovia en todo lo que va del siglo [XIX] no habían sufrido una avenida tan fuerte como la que tuvo lugar el 24 de mayo del presente año [1853]. El río Prádena, que pasa por el pueblo del mismo nombre y por los de Castroserna y Sebúrcol, y se une al Duratón cerca de San Miguel de Neguera, atravesando antes el terreno de arenas, arrastró tal cantidad de ellas, que en Burgo Millodo, donde el río sale de una profunda hoz, arrojó una parte de las mismas sobre la orilla derecha, que allí se halla bastante baja, cubriéndola en 1 y 2 metros de altura, con no poca admiración de las gentes, que, reducido el río á su cauce, se hallaron con aquella novedad. Es de advertir que no había memoria de que hubiese sucedido allí una cosa igual anteriormente. Sin embargo, se cree que el mismo río que las trajo podrá en otra avenida arrastrarlas hácia adelante, dejando el campo restituído á su anterior fecundidad."

Como puede verse, una de las mayores preocupaciones en estas descripciones iniciales de los eventos de inundación, era la capacidad de erosión-arranque, transporte de la carga sólida y sedimentación durante o tras las avenidas y crecidas, dada la formación e interés fundamentalmente geológico de los miembros de la Comisión. Esta circunstancia puede igualmente reconocerse en otras descripciones publicadas unos años más tarde por el propio Casiano de Prado (1864):

"En la grande avenida del Jarama en el invierno de 1860 á 1861 quedó luego en San Martin de la Vega sobre el aluvion mas reciente una capa bastante gruesa de arena blanca y muy fina, igual en el aspecto á la

Llorente Isidro, M. et al., 2006. La experiencia del IGME en cartografía de peligrosidad de avenidas torrenciales e inundaciones: de Casiano de Prado a PRIGEO. En: Díez Herrero, A., Lain Huerta, L. y Llorente Isidro, M. (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 N.º 7. 41-63. Madrid

que el Duero dejó en los Arribes, donde corre entre España y Portugal, hasta la altura de 15 metros, en el mismo día. En estos casos las arenas son arrastradas en suspensión, lo mismo que la arcilla, hasta que la velocidad del agua disminuye lo necesario para que las primeras se detengan y bajen al fondo. La materia que suele depositarse después es un limo arcilloso, una parte del cual es tan persistente, que en muchos casos no la abandona nunca el agua completamente, aun sometiéndola a un absoluto reposo por muchos días; y no hay ningún gran río en el mundo que entre en el mar con una perfecta diafanidad en sus aguas.

En el aluvion antiguo de aquella vega hay debajo de la tierra vegetal una capa de cantos rodados, de 10 y 12 centímetros de diámetro muchos de ellos, y la avenida que le produjo debió de haber sido mucho más fuerte que la de 1860 á 1861. Las avenidas en este caso causan grandes daños á la agricultura. Las que no son fuertes suelen ser, por el contrario, beneficiosas, por el limo que dejan.

Hacia el año de 1853 ó 54 hubo otra grande avenida en el Tajo, que produjo en la rivera de la izquierda, á las puertas de Villamanrique, un aluvion de bastante espesor, donde sin duda por las semillas que contenia apareció luego una almáciga natural de chopos, álamos blancos, salgueras y otros árboles, que cuando yo los he visto en 1858 tenian ya 3 y 4 metros de altura."

Este mismo patrón descriptivo-analítico de las primitivas Memorias de la Comisión y de la Descripción Física y Geológica de la Provincia de Madrid (Prado, 1864), será el seguido durante la elaboración del resto de las Memorias y Descripciones provinciales, realizadas durante el último cuarto del siglo XIX. De esta forma, los distintos responsables de elaborar los estudios geológicos de cada provincia, aprovechan para describir las inundaciones de las que tienen noticias (normalmente las más recientes, de la segunda mitad del siglo XIX), con especial hincapié en la carga sólida y los depósitos; incluso realizan filtraciones de aguas y cálculos cuantitativos de caudales y arrastres. Sirva como ejemplo la realizada por Daniel de Cortázar (1891):

"Primer ejemplo.- Recogida el agua del río Pirón en 14 de Julio de 1885 después de un temporal de lluvias que habían determinado una crecida tan grande que el día anterior destruyó el puente de la carretera entre Pinarnegrillo y Carbonero el Mayor, dió por filtración un residuo de 20 centigramos por litro, o sean dos quilogramos por metro cúbico. El aforo del río era de 15 metros cúbicos por segundo, y, por tanto, arrastraba 30 quilogramos de limo al segundo, 108000 en una hora y 2.592000 al día, es decir, un volumen de más de 2000 metros cúbicos."

Ello permitió tener una amplia recopilación de eventos de inundación y sus efectos, lo que facilitó notablemente la tarea de Horacio Bentabol, a quien la Comisión publicó en el año 1900 un trabajo de síntesis titulado "Las aguas de España y Portugal", donde se recogen largos listados de eventos de inundación (riadas y diluvios, páginas 10-20); estimaciones de sus consecuencias económicas, que cifra en la importante cantidad de 1.200 millones de pesetas anuales (de la época); e interesantes afirmaciones sobre la periodicidad de las crecidas y su análisis, así como sobre el papel del umbral o coeficiente de escorrentía (ver Díez y Lain, 1998).

Pero no todo eran daños y pérdidas. Los primeros investigadores de la Comisión ya eran conscientes de los beneficios que, para determinados usos agrícolas, conllevaban las inundaciones, y así lo hacen constar en sus escritos (Prado, 1864):

"Para que [el río Tajo] saliese de madre en sus crecidas sería preciso un diluvio como el de Noé. ¡Dichosas las comarcas donde las inundaciones pueden causar lágrimas! Por sensible que esto sea, lo es mucho más el ver que las que en los yermos que el Tajo atraviesa no hay quien pueda derramarlas. En Castilla la Vieja hay un pueblo, pequeño, pero rico y con excelentes tierras, que acaso una vez en cada siglo es arrasado por el Duero, como lo fué en el año anterior [1863], y en 1788 había sufrido igual suerte. Pues bien: á pesar de que en su término tiene terrenos adonde no alcanza nunca el río, vuelve una y otra vez á levantar sus casas en los mismos solares. No parece, pues, que sean siempre las inundaciones tan terribles. Con la suerte de ese pueblo muchísimos habría, situados en sitios altos, que trocarían la suya.

Las únicas tierras donde las inundaciones de este río se hacen sentir en la provincia de Madrid, aunque

pocas veces, son las de la vega de Colmenar principalmente y su prolongación en Aranjuez, y además las de Talavera. La del año último [1863] ha causado bastantes daños, y fue preciso sembrar de nuevo muchas localidades. Nadie ha perdido por eso."

En esta línea, Cortázar (1891), insiste en las pérdidas de suelo fértil que se producen por arrastres de los ríos durante las crecidas:

"... los ríos conducen grandes cantidades de arenas y limo que se pierden completamente, y que por lo menos el segundo pudiera ser de excelente provecho en la agricultura."

Esta primera etapa se cierra a inicios del siglo XX, cuando las investigaciones hidrogeológicas se centran únicamente en las aguas subterráneas, dejando la parte superficial del ciclo hidrológico y sus riesgos asociados a otros colectivos profesionales.

1.2. El inicio de la producción cartográfica

Aunque no se tiene constancia documental, a buen seguro que muchos de los trabajos antiguos de la Comisión sobre avenidas estuvieron acompañados de croquis, esquemas y mapas de las áreas inundadas, zonas de erosión o depósito de materiales, o localización de daños. Sin embargo, estos documentos de trabajo no han llegado hasta nuestros días, al no recogerse en las memorias e informes. En este sentido, las recientes investigaciones histórico-científicas en los fondos documentales manuscritos de importantes personajes vinculados con la Comisión, como Guillermo Schulz, a buen seguro pueden sacar a la luz sus notas y mapas sobre eventos tan importantes como la avenida del Tajo en 1876, que tuvo lugar durante su retiro en Aranjuez (Madrid), y cuyos efectos seguramente estudió.

Mientras tanto, hay que dar un salto temporal de casi un siglo hasta encontrar los primeros trabajos del IGME (denominación que adquirió desde 1910) sobre inundaciones que vienen acompañados de cartografías. Se trata de los estudios realizados a raíz de las importantes inundaciones acontecidas en el País Vasco (Valle del Nervión) a inicios de la década de 1980.

Desde entonces, y hasta nuestros días, el Instituto ha producido más de dos centenares de mapas, decenas de informes, manuales y guías, en perfecta solución de continuidad (ver anexo bibliográfico y Figuras 1 y 2). No obstante, pueden delimitarse tres etapas temporales claramente diferenciadas:

- Decenio 1984-1993, cuando tiene lugar una producción sistemática de trabajos cartográficos bajo las series de los mapas previsoires en núcleos urbanos y de criterios geológicos, en lo que podría denominarse la "década de oro" de la producción cartográfica; gracias a la labor de dirección y coordinación de personas como F.J. Ayala, J.M. Pernía y J.J. Durán (entre muchos otros), el IGME se situó a la cabeza de la producción de mapas de peligrosidad de inundaciones en España.
- Periodo 1994-2005, cuando se realizan los estudios y mapas de inundaciones en el marco de proyectos generales que abarcan otros riesgos geológicos, y que se centran fundamentalmente en ámbitos comarcales o regionales; se mejoran los métodos de cálculo, y se introducen los sistemas de información geográfica como herramienta de análisis y soporte de los mapas.
- Periodo 2005-actualidad, en el que con la puesta en marcha del Plan PRIGEO se pretende sistematizar y homogeneizar la producción cartográfica.

2. La producción cartográfica del IGME en materia de inundaciones

En el año 1997 se realizó una exhaustiva recopilación documental de los trabajos y cartografías realizados por la



Fig. 1. Mapa índice de los trabajos realizados por el IGME específicamente sobre riesgos de inundaciones en España que contienen cartografía de peligrosidad, con indicación de si su ámbito espacial es puntual (término municipal o menor; minúsculas) o areal (superior al término municipal; mayúsculas); asimismo se indica con colores si el trabajo está publicado (verde o azul), o inédito (rojo o naranja). Actualizado de Díez y Lain (1997 y 1998) y Díez y Pujadas (2002), a mayo de 2006.

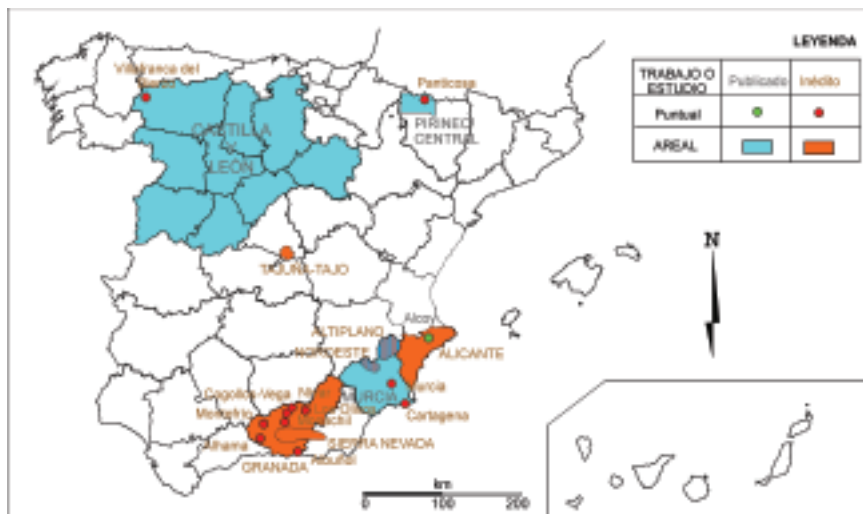


Fig. 2. Mapa índice de los trabajos realizados por el IGME sobre diversos riesgos geológicos o naturales en España, y que contienen cartografía de peligrosidad de inundaciones, con indicación de si su ámbito espacial es puntual (término municipal o menor; minúsculas) o areal (superior al término municipal; mayúsculas); asimismo se indica con colores si el trabajo está publicado (verde o azul), o inédito (rojo o naranja). Actualizado de Díez y Lain (1997 y 1998) y Díez y Pujadas (2002), a mayo de 2006.

Comisión-IGME-ITGE hasta esa fecha, recogándose una relación comentada de los mismos en publicaciones posteriores (Díez y Lain, 1997 y 1998; Díez y Pujadas, 2002). En ellas se señala que, a grandes rasgos, la producción cartográfica puede agruparse en tres tipos de estudios, no sólo por su escala de trabajo o ámbito espacial, sino también por tener diferentes métodos y técnicas de estudio:

- Mapas previsores de riesgos de inundación en núcleos urbanos.
- Establecimiento de criterios geológicos para la previsión de inundaciones en ámbitos comarcales, provinciales o autonómicos.
- Manuales e inventarios de carácter general (a nivel nacional).

A ellos cabría añadir, desde entonces, los mapas de peligrosidad en ámbitos municipales, que se situarían, por sus escalas de trabajo y metodología, entre los mapas previsores en núcleos urbanos y los estudios de ámbito comarcal.

2.1. Mapas previsores de riesgos de inundación en núcleos urbanos

El objetivo de estos estudios, según consta en los documentos de síntesis, era “desarrollar una metodología aplicable, sin excesivo derroche de medios, al reconocimiento de los riesgos de inundación en núcleos urbanos de tamaño medio”; subsidiariamente se estudian los efectos de las previsibles inundaciones futuras, y en función de éstos, orientar una adecuada ordenación territorial.

Para ello utilizan una metodología múltiple, que se inicia por la definición de los problemas en base al estudio de sus causas y la modalidad de inundación previsible. El análisis de peligrosidad de inundación usa tres grupos de métodos de forma complementaria e integrada:

- *Histórico-estadístico*; se determinan las extensiones cubiertas por anteriores crecidas y se calcula su probabilidad de ocurrencia; este estudio de inundaciones históricas sirve también para calibrar y validar los cálculos hidráulicos (Cartagena; Ferrer *et al.*, 2000).
- *Hidrológico-hidráulico*; calcula caudales para diferentes periodos de retorno (cuantiles) y estima la altura de lámina de agua en cada una de las zonas afectadas. Los periodos de retorno estudiados corresponden a 1.5, 5, 20 y >20 años, siguiendo las recomendaciones de la ONU (1983); en corrientes de marcada estacionalidad se han sustituido por 25, 50, 100 y 500 años; incluso algunos estudios emplean el periodo de retorno de 10 años (Cartagena). El cálculo de cuantiles se realiza mediante dos procedimientos:
 - Análisis estadístico de caudales sobre series anuales de máximos diarios (medios) o sobre series de datos diarios (instantáneos); los cuantiles obtenidos para ambas series se relacionan mediante un factor de proporcionalidad. El modelo estadístico emplea únicamente datos locales, con una función de distribución tipo Gumbel.
 - Cálculo hidrometeorológico mediante la fórmula clásica del método racional. Con los datos de precipitaciones máximas en 24 horas se realizan mapas de isoyetas máximas diarias para distintos periodos de retorno; los parámetros de la ecuación se calculan con las fórmulas propuestas por Témex, y el umbral de escorrentía con la metodología del SCS (USDA). Paralelamente se estudian las situaciones meteorológicas sinópticas causantes de los principales eventos.

Por su parte, la estimación de alturas de lámina de agua se realiza con las fórmulas de Manning o Chezy aplicadas en perfiles transversales seriados del canal y llanura a escala 1:5.000. Los estudios se completan con el cálculo de la precisión de las estimaciones. Únicamente los estudios más recientes (Albuñol; Lain, Llorente *et al.*, 2005) hacen uso de modelos más complejos de tipo unidimensional, en régimen gradualmente variado, combinados con SIG (HEC-GeoRAS).

- *Geológico-geomorfológico*. Mediante el estudio de las formas del terreno modeladas en las crecidas o en régimen normal intenta reconstruir el tipo y frecuencia de las avenidas. Dicho análisis permite conocer el

proceso de modelado y su dinámica, así como delimitar las zonas que han sufrido inundación (huellas de erosión y/o deposición) o que sean susceptibles de serlo en el futuro. El objetivo final es diferenciar las zonas geomorfológicamente activas para periodos de retorno de 5, 20-25, y 500 años. Presenta dos fases diferenciadas:

- Trabajo de campo. Levantamiento de cortes estratigráficos, secuencias y columnas sedimentológicas; reconocimiento de formas y criterios; revisión del trabajo de gabinete.
- Trabajo de gabinete. Elaboración de mapas derivados mediante fotointerpretación estereoscópica de pares verticales (normalmente 1:18.000), cuya leyenda comprende: elementos hidráulicos (lechos y accidentes en el canal), formas de erosión (escarpes, incisión, cárcavas, ...), formas de acumulación (barras, islas, conos,...), formas mixtas (terrazas, marismas), acciones dinámicas (huellas de dirección, zapado, líneas de desbordamiento) y acciones antrópicas (encauzamientos, construcciones, etc.). Además se realizan mapas de pendientes, perfiles longitudinales y transversales, mapas de corrientes clasificadas (CDR, Horton, Strahler), etc.

La cuantificación del riesgo a partir de los estudios de peligrosidad pasa por: el inventario de bienes, servicios y población; la estimación de la extensión, altura y permanencia del agua en las zonas de llanura de inundación; y la definición de líneas de corriente y modificaciones en el cauce y/o llanura.

Los resultados de la integración de los diferentes métodos y cartografías se plasman en una serie de mapas sintéticos, denominados:

- Planos geomorfológicos 1:25.000, con unas completas leyendas aplicadas al fenómeno de la inundación, dignas de ser reseñadas (Figura 3).
- Planos de peligrosidad de inundaciones zonados según la probabilidad (periodo de retorno) a escalas 1:5.000, 1:10.000 ó 1:15.000 (Figura 4); algunos incorporan zonas inundables por lluvias intensas en zonas deprimidas (Cartagena).



Fig. 3. Leyenda de los planos geomorfológicos de detalle que acompañan a la cartografía de peligrosidad de inundaciones en la serie de mapas previsores de riesgos por inundaciones en núcleos urbanos (Ayala, Rodríguez, Prieto et al., 1986).

- Zonificación del riesgo en sectores del cauce a gran escala, 1:2.500 (Güimar) y 1:5.000 (Playa de las Américas).
- Mapas de riesgos, con el reflejo de sectores del cauce afectados, caudales máximos y alturas de lámina de agua, a escala 1:10.000 (Figura 5).

Sólo en los últimos estudios más modernos (como el realizado en Albuñol, Granada), al incorporarse modelos hidráulicos (tipo HEC-RAS) combinados con el uso de sistemas de información geográfica (ArcGIS), se han podido obtener mapas de peligrosidad de inundaciones que contemplan la batimetría en modelos digitales del terreno (Figura 6); y por lo tanto delimitar según la profundidad y la velocidad, las zonas de inundación peligrosas para las personas (ZIPP) de las que no lo son (ZINPP). Otros, como el estudio de Cartagena, representan en las secciones tratadas con Manning los parámetros hidráulicos del perfil (Q, h y tc).

Se encuentran realizados estudios para los núcleos urbanos y/o municipios de: Almería, Andújar, Badajoz, Barbate, Campo de Gibraltar, Córdoba, Écija, El Ejido, Granada, Guadix, Loja, Lucena, Málaga, Mérida, Puente Genil y Utrera (1986); Murcia (1986); Puerto Lumbreras, Lorca, Totana y Archena (1987); Vinaroz, Benicarló, Villarreal, Burriana, Algemés, Alcira, Carcagente, Gandía, Ondara, Jávea, Benidorm y Orihuela (1987); Posada de Llanes (1987); Ballobar (1988); Güimar y Playa de Las Américas (1989); Alcoy (1990); Cartagena (2000); Panticosa (2003); Villafranca del Bierzo (2003); y Albuñol (2005).

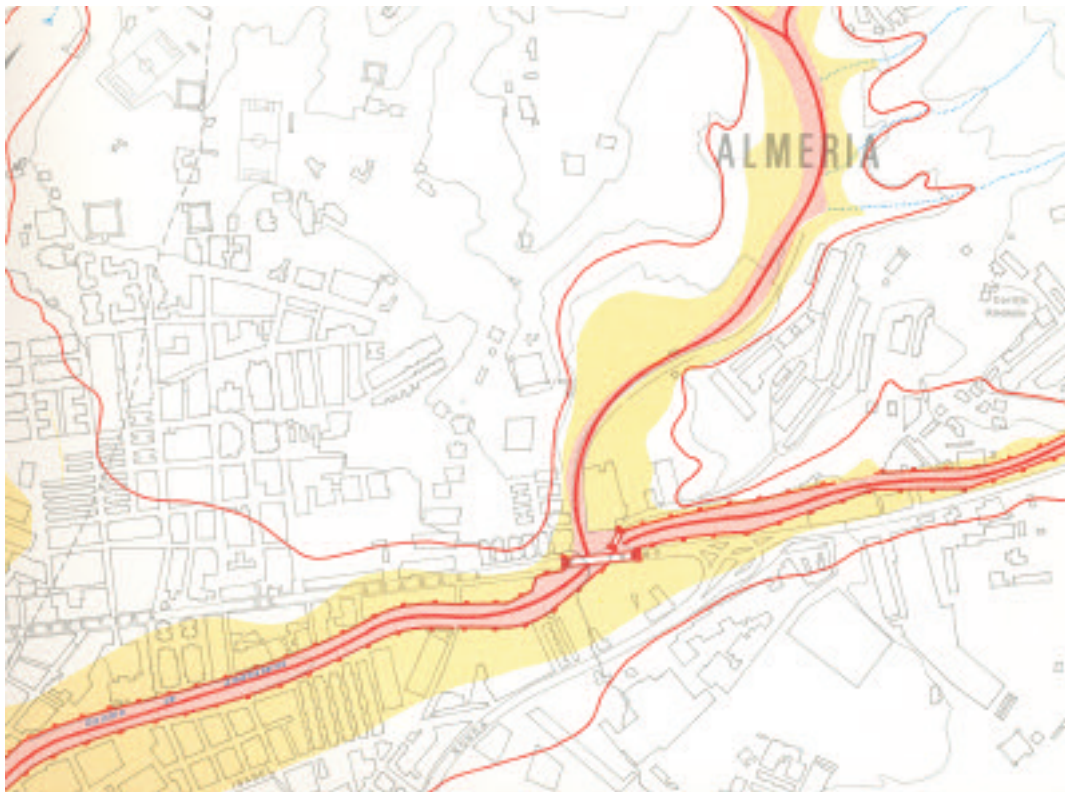


Fig. 4. Detalle del plano de probabilidad de inundaciones a escala 1:5000, contenido en el mapa predictor de riesgos por inundaciones en núcleos urbanos correspondiente a Almería (Ayala, Rodríguez, Prieto et al., 1986).

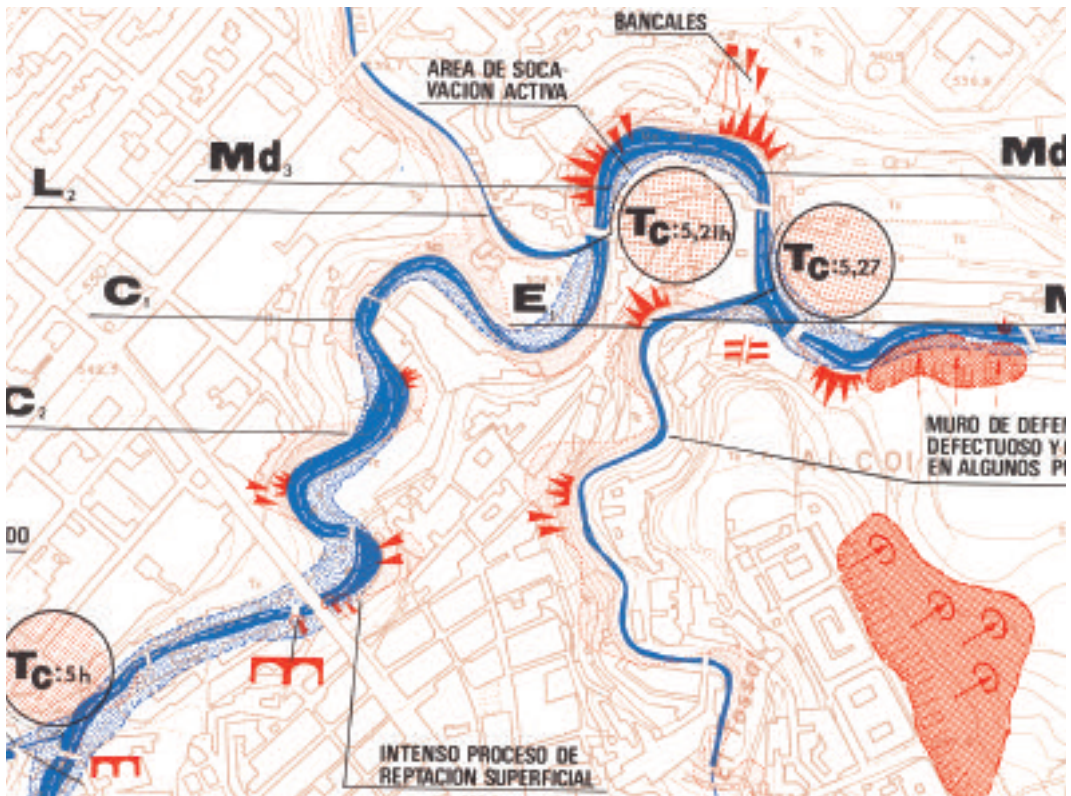


Fig. 5. Detalle del mapa de peligrosidad y riesgo por avenidas de la ciudad de Alcoy (Baretino, en Ayala 1990).

2.2. Estudios de previsión de inundaciones en ámbitos comarcales, provinciales y autonómicos

Se trata de estudios preventivos sobre los factores geológicos (geomorfológicos, sedimentológicos...), hidrológico-hidráulicos, climáticos y antrópicos, que permiten un cierto grado de predicción del riesgo de inundación. Con ello se delimitan zonas potencialmente sometidas al peligro de inundaciones y otros asociados, cuantificando los efectos según diversos periodos de retorno.

Se inician con el encuadre geológico y fisiográfico de las cuencas fluviales en la región o comarca estudiada, reflejando su litoestratigrafía, geología estructural y principales características de los sistemas fluviales. A continuación un estudio climático-meteorológico detalla el clima y la pluviometría (tipos de lluvias, distribución anual...), así como las inundaciones y precipitaciones históricas comparadas con los máximos registrados en las series ordinarias. Papel relevante tiene el estudio del régimen de precipitaciones máximas, cuyos datos diarios se analizan estadísticamente con la función de tipo Gumbel para obtener los cuantiles correspondientes a los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años; el tiempo de concentración de las subcuencas se calcula a partir de la longitud y pendiente del curso principal; y el factor reductor de la intensidad de lluvia en función de la superficie de la cuenca.

Sin duda alguna, la metodología en la que se hace mayor hincapié es el estudio geomorfológico (morfométrico, dinámico y evolutivo) de las cuencas y la red de drenaje, basado en el análisis del MTN 1:50.000 y pares estereoscópicos fotográficos a escala 1:18.000. El complemento hidrológico-hidráulico comprende: cálculo del coeficiente de

escorrentía a partir de episodios observados en avenidas extraordinarias; regulación natural por los acuíferos; regulación mediante embalses; estimación de las máximas crecidas por el método racional; cálculo de los hidrogramas mediante el método de las isocronas; y predicción con las observaciones realizadas en función del tiempo de concentración y velocidades de propagación. Otros factores que se consideran son: cubierta vegetal, suelos, movimientos en masa (tipos asociados en laderas y colectores fluviales), viento y sismicidad.

Merece la pena destacar el tratamiento de la peligrosidad asociada a los fenómenos torrenciales que se ha hecho en algunas de las cartografías, y que se inició con el estudio y mapas del Pirineo Central oscense (J. Mulas y F. Fresno, en Ríos 1994 y 2001). Para los tramos altos de los ríos, torrentes y arroyos se evaluó la peligrosidad asociada al aporte de agua y transporte de sedimentos, teniendo en cuenta cinco parámetros: pendiente media, superficie de la cuenca, cubierta forestal, erosionabilidad de los materiales, y precipitación máxima en 24 horas. Con ellos se obtiene un índice total de peligrosidad, que varía entre 2 y 9, representado mediante un círculo coloreado (Figura 8). Este sistema de evaluación y representación, con variantes, se ha empleado también en los mapas de Villafranca del Bierzo (León) y la comarca natural del Tajuña-Tajo (Comunidad de Madrid).

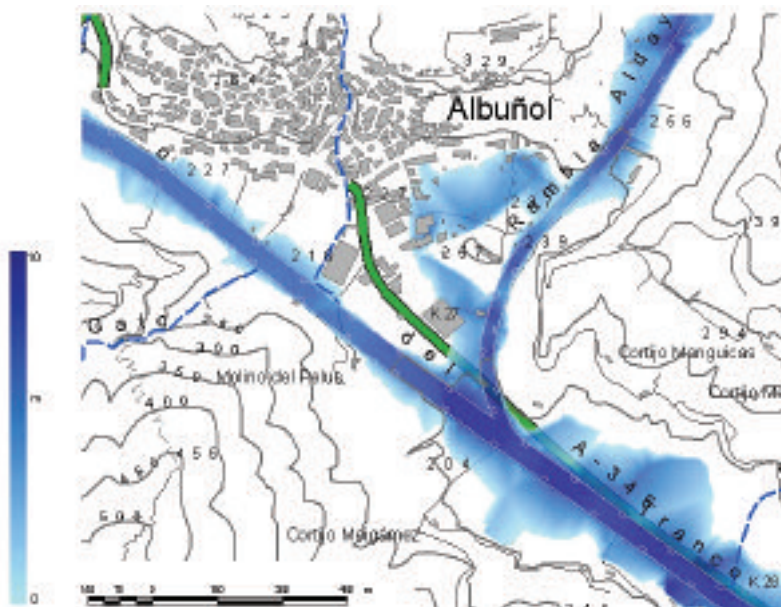


Fig. 6. Detalle del mapa batimétrico de la rambla de Albuñol (Granada) durante la avenida cuyo caudal desborda la obra de canalización (Lain, Llorente et al., 2005).

La acción antrópica se centra en el análisis del grado de ocupación de cauces, obstrucciones puntuales, cauces enterrados y acciones en medios de transición, como los estuarios (dragados y encauzamientos).

En definitiva, los criterios geológico-hidrológicos aplicados a amplias extensiones territoriales se centran en enfatizar el relevante papel de la interpretación geomorfológica (dinámica y evolutiva) de los elementos del cauce y márgenes de las corrientes fluviales, como fuente de información en la previsión de inundaciones; todo ello combinado con los pertinentes cálculos hidrometeorológicos (método racional), análisis estadístico de caudales y estudio de inundaciones históricas realizado a nivel areal.

Los resultados suelen ser cartografías a medias y pequeñas escalas (1:25.000 a 1:500.000) con la localización de zonas con diferente nivel de peligrosidad según periodos de retorno, delimitación geomorfológica de la llanura inundable, los tramos conflictivos por inundación, los fenómenos geológicos asociados generadores de riesgo, daños en zonas urbanas e industriales, y riesgo de corte de vías de comunicación. Entre las múltiples cartografías generadas, destacan los mapas de factores hidrológicos e inundabilidad, mapas de riesgos de daños por inundación, y los mapas de peligrosidad de inundación.

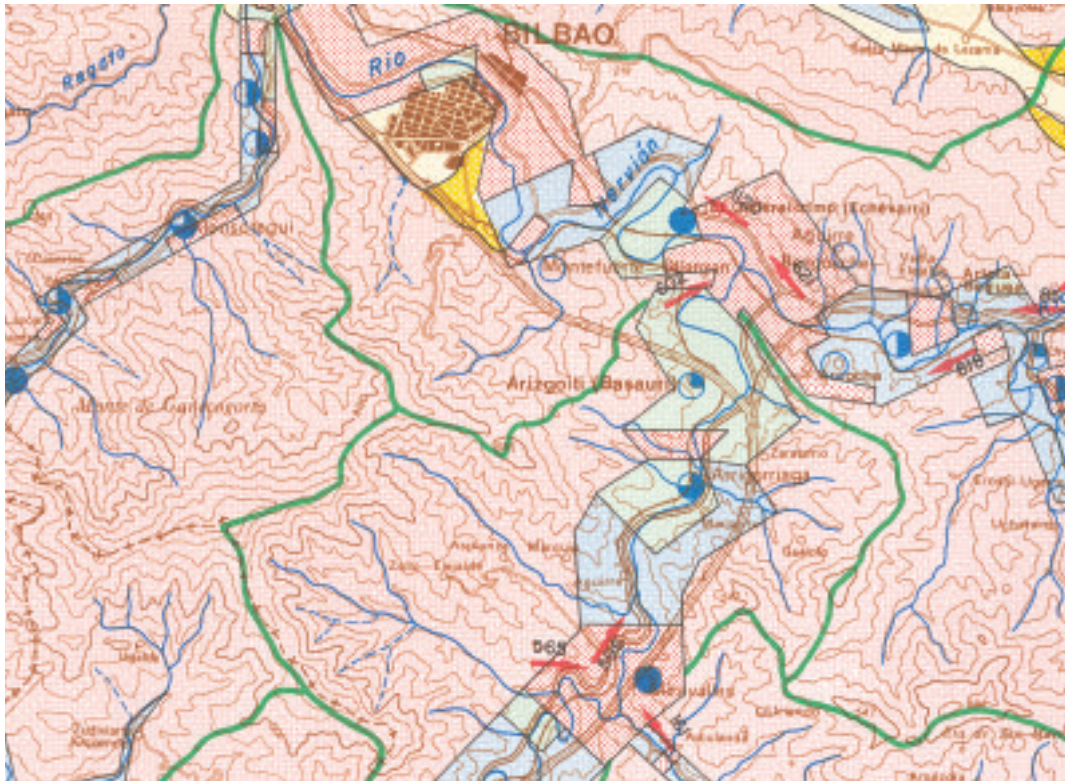


Fig. 7. Detalle del mapa de factores hidrológicos e inundabilidad 1:100.000, correspondiente al País Vasco (Ayala, 1986).

De este tipo se encuentran realizados informes en: Valle del Nervión (1984); Plana de Levante (1985); Álava, Vizcaya y Condado de Treviño (1986); Castilla y León (1989); Alicante (1990); cuenca alta del río Francolí (1992); Pirineo Central aragonés (1994); Región de Murcia (1995); parque nacional de Sierra Nevada (2003); comarca noroeste de la Región de Murcia (2004); comarca del Altiplano de la Región de Murcia (2005); comarca de las campiñas y vegas del Tajo-Tajuña (2005); provincia de Granada (2005); y parque natural Posets-Maladeta (en realización).

2.3. Cartografías en los inventarios de carácter general

El IGME, a lo largo de las últimas décadas, ha realizado diferentes inventarios y bases de datos de eventos histó-



Fig. 8. Leyenda del mapa de peligrosidad por inundaciones correspondiente al Pirineo Central oscense (Mulas y Fresno, en Ríos, 1994 y 2001).

ricos de inundaciones que han causado daños, desastres o catástrofes, tanto con ámbito estatal como comarcal. Entre ellos destacan: los realizados en el estudio de estimación del impacto económico y social de los riesgos geológicos en España (Ayala y Elizaga, 1987); el catálogo nacional de riesgos geológicos (Ayala *et al.*, 1988); los inventarios de peligros naturales en España y el Mundo (Ayala, 1991 y 1992); las inundaciones históricas de la cuenca del Tajo (Benito *et al.*, 1997; Díez-Herrero *et al.*, 1998); y fundamentalmente la reciente base de datos sobre inundaciones que han causado daños en España, realizada para evaluar las pérdidas del periodo 1987-2001, y estimar las potenciales para los próximos 30 años (Ferrer *et al.*, 2003 y 2004).

Por lo que respecta a las cartografías contenidas en estos estudios y publicaciones, únicamente destacar que se trata de mapas generales a muy pequeña escala (1:4.000.000 a 1:7.000.000), en los que se discriminan como unidades cartográficas, bien las hojas del MTN a escala 1:50.000 (Ayala y Elizaga, 1987), o los términos municipales, provincias y comunidades autónomas (Ferrer *et al.*, 2003 y 2004). En cuanto a las variables representadas, mientras que el estudio de 1987 recogía categorías tanto de peligrosidad por inundaciones como de pérdidas por inundaciones, el realizado en 2003 contiene municipios afectados por inundaciones, pérdidas calculadas para el periodo 1987-2002, y pérdidas estimadas para el periodo 2004-2033; este último estudio (Ferrer *et al.*, 2003) contiene un mapa que no se incluye en la publicación (Ferrer *et al.*, 2004), en el que se refleja el riesgo potencial por inundaciones en cada municipio, catalogado como nulo, bajo, moderado o alto, en función del número de inundaciones históricas (máximo periodo disponible) que ha sufrido.

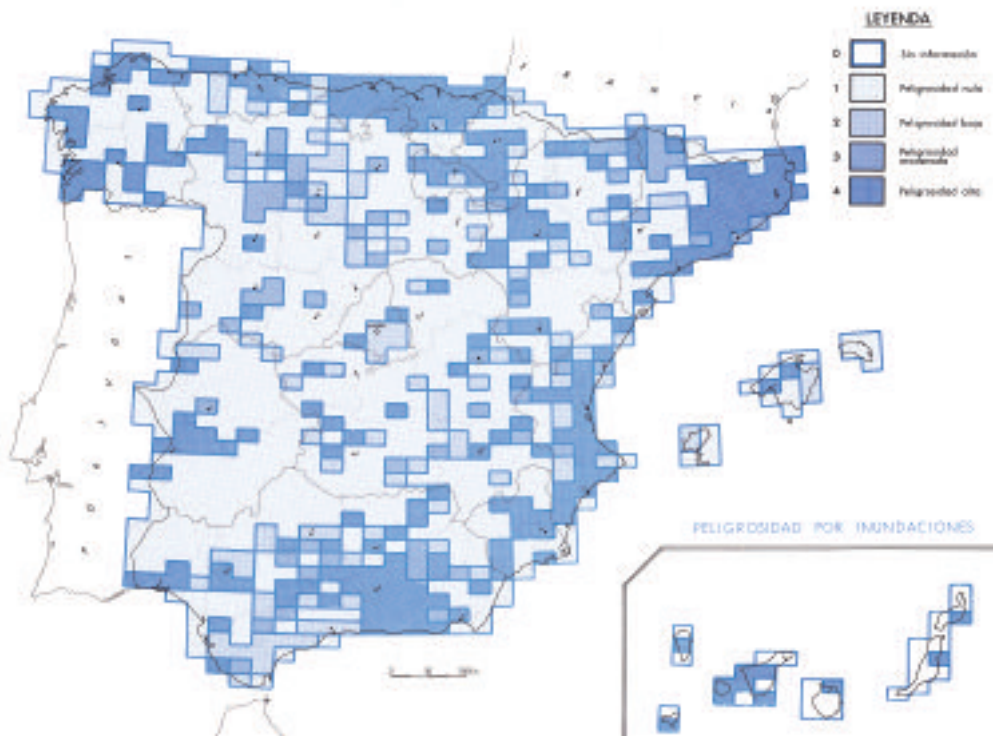


Fig. 9. Mapa de peligrosidad por inundaciones de España distribuido por hojas 1:50.000 (Ayala y Elizaga, 1987).

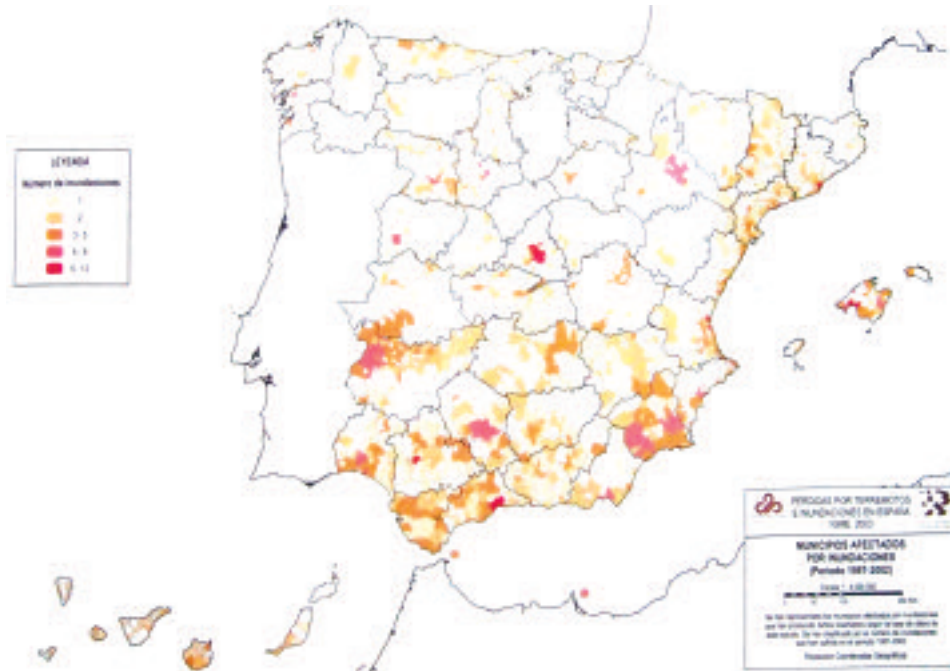


Fig. 10. Mapa del número de inundaciones (en cinco clases) que afectaron a los municipios españoles en el periodo 1987-2002, a partir de la base de datos de eventos con daños reseñables (Ferrer et al., 2003 y 2004).

2.4. Cartografías en proyectos de investigación y estudios de riesgos puntuales

En la actualidad el IGME, a través de su Área de Riesgos Geológicos, integrado en la Dirección de Recursos Minerales y Geoambiente, dirige sus actividades enfocadas al estudio y la prevención del riesgo de inundaciones hacia dos campos:

- Asistencia técnica para corrección de riesgos puntuales por inundación en áreas afectadas o para prevención en proyectos de instalación de nuevas actividades.
- Participación en proyectos de investigación sobre técnicas preventivas y metodologías de estimación de la peligrosidad.

2.4.1. Asistencia técnica para prevención y corrección de riesgos puntuales

En el primero de los aspectos destaca el convenio específico mantenido con la Dirección General de Protección Civil entre los años 1995-97, gracias al cual se aportó asistencia técnica en prevención y corrección de riesgos (informes de zonas con extensión menor a 3 ha) y se publicaron los informes anuales de peligros naturales en España y el mundo, ambos contemplando, entre otros, los fenómenos de inundaciones. Además, el IGME participó en el Grupo de Trabajo sobre análisis del riesgo de inundaciones, constituido por la citada Dirección General para desarrollar el futuro Plan Estatal de Protección Civil previsto en la Directriz Básica de Planificación ante el Riesgo de Inundaciones.

Asimismo se colabora como organismo asesor en las reuniones de las Subdelegaciones de Gobierno para la evaluación de los proyectos enfocados a paliar daños ocasionados por inundaciones y temporales, acogidos a las subvenciones de reales decretos en situaciones excepcionales (Valencia, septiembre de 1996; San Sebastián, junio de 1997).

Por último, técnicos del IGME intervinieron como comparecientes en las sesiones informativas realizadas por la "Comisión especial para la prevención de daños ante situaciones de catástrofe" del Senado, quedando constancia de sus aportaciones en materia de prevención del riesgo de inundaciones en el Diario de Sesiones del Senado (Díez, 1997).

4.2.2. Participación en proyectos de investigación

El IGME, en su calidad de organismo público de investigación (O.P.I.), participa en diversos proyectos de investigación cuyo ámbito y financiación abarca desde municipios hasta la propia Unión Europea, pasando por las convocatorias de los Planes Nacionales (CICYT) y la financiación con fondos propios.

Por lo que se refiere al tema de prevención del riesgo de inundaciones, destaca la participación en el proyecto del Plan Nacional del Clima (Plan Nacional I+D) titulado "*Investigación sobre el régimen de precipitación e inundaciones de la cuenca del Tajo durante el último milenio en base a criterios y datos paleohidrológicos*" (CL195-1748). El papel del IGME en este proyecto se centró en la confección de la base de datos sobre inundaciones históricas, y realizar su implementación en un sistema de información geográfica (Benito *et al.*, 1996; Díez-Herrero *et al.*, 1998; Benito *et al.*, 1999); igualmente tuvo a su cargo aspectos de la modelización hidrológica de las paleoinundaciones.

Otros proyectos de interés en los que ha participado o liderado el IGME en los últimos años, y que también han generado cartografías de peligrosidad de inundaciones o información útil para su elaboración son: Investigación analítica de riesgos naturales en España durante el Decenio Internacional para la Reducción de Desastres Naturales 1990-2000 (INARIS); Investigación de la influencia de la vegetación en los movimientos de ladera e inundaciones en el marco del cambio climático (VEGERISK); Elaboración mediante técnicas SIG (Sistemas de Información Geográfica) de mapas de peligrosidad debida a los movimientos en masa en dos sectores de la Sierra de Gredos (Sistema Central); A Regional Enterprise Network Decisión-Support System for Environmental Risk and Disaster Management of Large-Scale Industrial Spills (e-EcoRisk); e Incorporación de métodos geológicos al análisis de peligrosidad por avenidas catastróficas (GEORIADA), que en sus escasos meses de funcionamiento ya ha producido interesantes resultados (Díez-Herrero *et al.*, 2005).

3. Los mapas de peligrosidad de inundaciones en el Plan Prigeo

3.1. El Plan de Cartografía de Riesgos Geológicos (PRIGEO)

Durante el Comité de Dirección del IGME del mes de marzo de 2005 se aprobó la realización y puesta en marcha del Plan de Cartografía de Riesgos Geológicos (PRIGEO). Se trata de un ambicioso plan a diez años (2005-2015) cuyos objetivos son crear una infraestructura cartográfica sobre riesgos geológicos, diseñar un sistema de información (SIRGE), homogeneizar el tratamiento y explotación de la investigación en esta temática, y contribuir a las políticas de divulgación y de educación ambiental. Con este Plan, se desarrolla una de las funciones que el estatuto del IGME encomienda al Instituto, como es "estudiar los riesgos por procesos geológicos así como su previsión, prevención y mitigación".

Los peligros geológicos a estudiar son: terremotos y tsunamis, volcanismo, avenidas e inundaciones, movimientos del terreno y aludes, y peligros ligados a la dinámica litoral. La distribución de la cartografía de peligrosidad que se elaborará, a escala 1:50.000 (salvo Canarias, a 1:25.000), abarca en principio dos tercios del territorio nacional. Además, se realizarán mapas de detalle a escala 1:10.000 de núcleos de población y sectores con desarrollo socioeconómico en situación de alto riesgo. Para todo ello se cuenta con un presupuesto total estimado de casi cinco millones de euros.

La Escuela Nacional de Protección Civil (Rivas Vaciamadrid, Madrid) acogió el Acto de Presentación pública del Plan el pasado 6 de julio de 2005, pero con posterioridad se ha presentado en la Universidad de Barcelona, Excmo. Ayuntamiento de Albuñol (Granada), ante los responsables de las Oficinas de Proyectos del IGME, y en la Universidad de León.

3.2. Los mapas de peligrosidad de inundaciones en PRIGEO: primeras iniciativas

Con vistas a la producción sistemática y homogénea de mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones fluviales en el marco de PRIGEO, desde el IGME se están llevando a cabo varias iniciativas, contempladas todas ellas en el programa de trabajo y cronograma del Plan:

- Elaboración de una guía metodológica y una leyenda normalizada para la realización de los mapas.
- Desarrollo de proyectos de investigación para la utilización y calibración de métodos y técnicas.
- Ensayo de las metodologías y leyendas en áreas piloto.

3.2.1. Elaboración de una guía metodológica y leyenda normalizada

Para la elaboración de la guía metodológica de realización de los mapas de peligrosidad por inundaciones en el marco del Plan PRIGEO, lo primero que se ha considerado de interés es recopilar los aspectos más destacables de la larga y fructífera tradición y experiencia del IGME en esta materia. En especial, el uso combinado e integrado de diferentes técnicas y grupos de métodos (geológico-geomorfológicos, hidrológico-hidráulicos, históricos...), y la consideración del importante papel de la carga sólida transportada (no sólo en la peligrosidad, sino en las variaciones de los parámetros hidráulicos del flujo), así como los fenómenos geológicos asociados a la inundación (sufusión, movimientos de ladera, erosión, aterramiento...), susceptibles de causar situaciones de riesgo.

Todo ello combinado con una profunda revisión de la experiencia de otros organismos nacionales (CEDEX, CC.HH., ACA, AAA...) y extranjeros (FEMA, Cemagref...) con prestigio en la elaboración de mapas de peligrosidad de inundaciones. Para ello, se ha considerado de interés la organización de unas Jornadas Técnicas sobre Cartografía de Peligrosidad de Inundaciones (INUNMAP, Madrid del 23 a 25 de mayo de 2006), a las que se ha invitado a más de una veintena de ponentes de reconocido prestigio y experiencia, y se mantendrán talleres de trabajo para discutir las metodologías y leyendas, al fin de corregir, matizar y consensuar las propuestas del IGME.

Tanto la metodología como la leyenda de los mapas deberá ser una síntesis que combine la rigurosidad científico-técnica (en el estado actual de conocimientos), con la eficacia en la producción cartográfica, teniendo en cuenta que existen varios factores limitantes: unas escalas de trabajo y representación predefinidas (1:50.000 y 1:10.000), unos plazos temporales (2007-2015), un presupuesto al que ajustarse, y la coordinación con las demandas de los usuarios finales (administraciones de ordenación del territorio, gestión de cuencas hidrográficas, mundo del seguro, protección civil...).

Así las cosas, desde el Área de Riesgos Geológicos el IGME se ha planteado un primer borrador de leyenda para los mapas de peligrosidad de inundaciones (Figura 11), que deberá ser discutida y mejorada en las Jornadas INUNMAP 2006. Esta leyenda, en forma de matriz cruzada, combina criterios clásicos, como es la delimitación de zonas

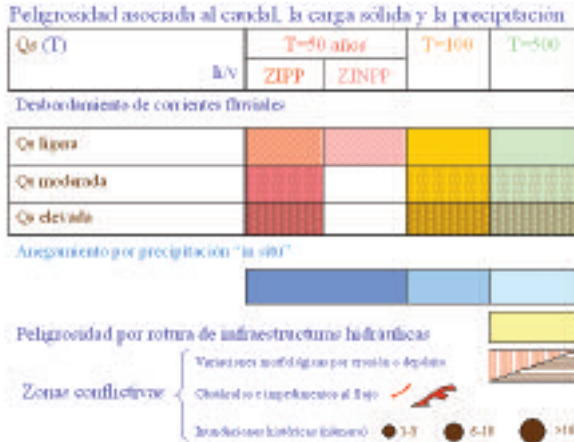


Fig. 11. Propuesta preliminar de leyenda para los futuros mapas de peligrosidad por inundaciones a escala 1:50.000 de PRIGEO.

inundables según los periodos de retorno de sus caudales (siguiendo los límites usados por la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil), con criterios derivados del impacto socioeconómico (ZIPP y ZINPP), y con una estimación cualitativa de la carga sólida potencialmente transportada; además se añaden otros elementos, como zonas inundadas por precipitación y encharcamiento, puntos conflictivos, otros fenómenos asociados, e inundaciones históricas.

A título ilustrativo, también se ha elaborado un fragmento de cartografía (Figura 12), para que sirva de ejemplo idealizado sobre cómo podrían reflejarse los distintos elementos de la leyenda en el mapa.

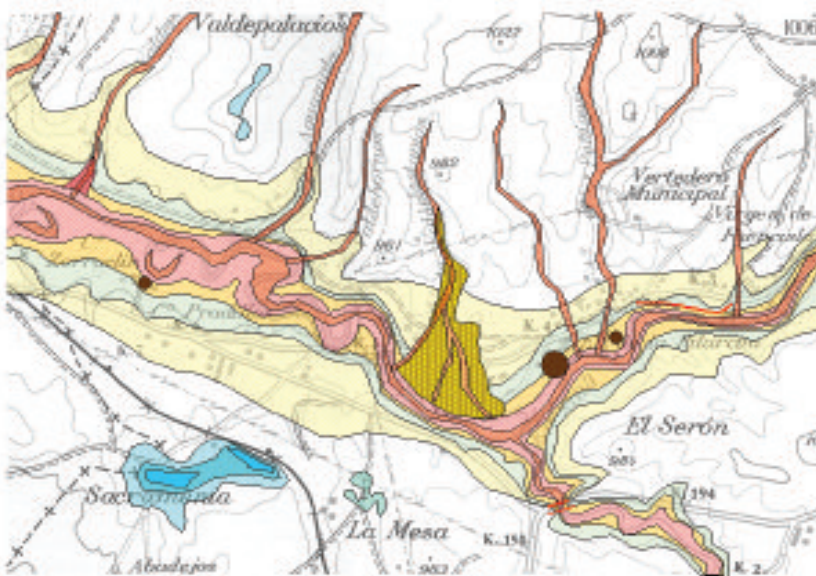


Fig. 12. Mapa idealizado como ejemplo de la representación cartográfica de la peligrosidad de inundaciones propuesta en PRIGEO.

3.2.2. Desarrollo de proyectos de investigación

Paralelamente a la elaboración de la guía metodológica, y al objeto de concretar los métodos y técnicas más adecuados, se están desarrollando dos proyectos de investigación, ambos con financiación propia del IGME, y participación de investigadores de otros organismos externos (CEDEX, CSIC, UCM, UCLM, DGPC, CCS...).

El primero se denomina "Diseño de una metodología para la realización de cartografía de peligrosidad de inundaciones en función de su aplicación" y, como su título indica, persigue diseñar una metodología de elaboración cartográfica según su aplicación, considerando distintos modelos para la estimación de caudales (geomorfológicos-geológicos, hidrometeorológicos, hidrológicos, históricos, etc.), estudiando cuencas fluviales piloto a diferentes escalas y con distintas problemáticas (que condicionan los usos finales de las cartografías), y usando como soporte y herramienta los sistemas de información geográfica.

El segundo lleva por título "Incorporación de métodos geológicos al análisis de peligrosidad por avenidas catastróficas" (GEORIADA). Tiene por objetivo investigar sobre metodologías geológicas susceptibles de ser incorporadas al análisis de peligrosidad de avenidas catastróficas, de cara a la optimización y mejora de los resultados, y contribuir a la prevención efectiva del riesgo por inundación asociado. Para ello, se han documentado y se están ensayando metodologías correspondientes a cuatro grupos de técnicas:

- 1) Métodos geomorfo-edáficos para el estudio de la génesis de la escorrentía superficial.
- 2) Métodos geomorfológicos para la modelación de la concentración y propagación del hidrograma de avenida.
- 3) Métodos geológico-geomorfológicos para el análisis de la frecuencia y magnitud de eventos de avenida.
- 4) Métodos geomorfo-edáficos para la estimación de la carga sólida transportada.

Para la puesta en práctica, calibración y validación de estos métodos, se están aplicando en tres cuencas hidrográficas de muy diferentes características y problemática asociada, en las que ya han comenzado los trabajos de campo para la adquisición de datos:

- a) Cuenca del arroyo Cabrera en Venero Claro (Cuenca del Tajo, Ávila)
- b) Cuenca del río Duratón hasta el embalse de Burgomillodo (Cuenca del Duero, Segovia)
- c) Cuenca del río Tajo hasta la ciudad de Toledo (Cuenca del Tajo, Toledo)

3.2.3. Ensayos en áreas piloto

Con vistas a ir probando, calibrando y validando las metodologías propuestas por los proyectos de investigación, se están desarrollando ensayos de elaboración de cartografías a escalas semejantes a las previstas en el plan PRIGEO (1:50.000) en diferentes zonas con problemática variada:

- Áreas con dinámica torrencial asociada a ramblas litorales: Albuñol (Granada).
- Zonas con inundaciones en zonas llanas con régimen mediterráneo: comarcas de Murcia Noroeste y Altiplano de Murcia.
- Áreas con dinámica torrencial de alta montaña: parque natural de Posets-Maladeta (Huesca).

Con estas zonas, y otras que se ensayarán en un futuro inmediato, pretende cubrirse el amplio abanico de situaciones y tipología de inundaciones del territorio nacional, y la validez de las metodologías y leyendas propuestas.

4. Apéndice: inventario de trabajos realizados sobre avenidas e inundaciones por parte de la Comisión-ITGE-IGME

4.1. Trabajos pioneros citados (en orden cronológico)

- Prado, C. de (1853). *Sección Geológico-Paleontológica*. En: Schulz, G. (1855), *Memoria que comprende el resu-*

men de los trabajos verificados en el año de 1853 por las diferentes secciones de la Comisión encargada de formar el mapa geológico de la provincia de Madrid y el general del Reino, Aguado Impresor, Madrid, 77 pp.

- Prado, C. de (1864). *Descripción Física y Geológica de la Provincia de Madrid*. Junta General de Estadística, Imprenta Nacional, Madrid, 219 pp.
- Cortázar, D. de (1891). Descripción física y geológica de la provincia de Segovia. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*. Tomo XVIII.
- Bentabol, H. (1900). Las aguas de España y Portugal. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, tomo XXV (V de la 2ª serie).

4.2. Estudios publicados específicamente sobre el riesgo de inundaciones (en orden cronológico)

- Ayala, F.J. y Pérez González, A. (Dtors.) (1984). *Establecimiento de criterios geológicos para la prevención de daños por avenidas. Aplicación a las inundaciones del Valle del Nervión (País Vasco) en agosto de 1983*, IGME, Madrid, 86 págs., mapas (1:200.000) y 10 planos (1:5.000), 2 vols. DL M-26838-1984; ISBN 84-7474-256-0.
- Ayala, F.J. (Coord.) (1985). *Geología y prevención de daños por inundaciones*, IGME, Madrid, 421 págs. ISBN 84-7474-324-9; DL M-37383-1985.
- Ayala, F.J.; Rodríguez, J.M^a; Prieto, C.; Durán, J.J.; Lamas, J.L. y Rubio, J. (1986). *Mapa predictor de riesgos por inundaciones en núcleos urbanos de Andalucía y Extremadura. Almería, Andújar, Badajoz, Barbate, Campo de Gibraltar, Córdoba, Écija, El Ejido, Granada, Guadix, Loja, Lucena, Málaga, Mérida, Puente Genil, Utrera*. Serie Geología Ambiental, ITGE, Madrid, 205 págs y 34 mapas. ISBN: 84-7474-403-2; NIPO: 232-87-003-1; DL: M-27245-1987.
- Ayala, F.J. (Dtor.) (1986). *Estudio geológico para la previsión de riesgos por inundaciones en el País Vasco (Álava y Vizcaya) y Condado de Treviño. E 1/100.000*. Serie Geología Ambiental, IGME, Madrid, 71 págs. y 6 map. pleg. (1:100.000), 2 vols. DL M-42457-1986.
- Pernía, J.M.; Del Val, J.; De Simón, A.; Boquera, J. y Artáiz, C. (1987). *Mapas predictores de riesgos de inundaciones en núcleos urbanos. Puerto Lumbreras, Lorca, Totana, Archena*. Serie Geología Ambiental, IGME, Madrid, 53 págs. y 4 planos (1:5.000). NIPO 232-87-003-1; DL M-35439-1987; ISBN 84-505-6719-X.
- Pernía, J.M.; Del Val, J.; De Simón, A.; Boquera, J.; Artáiz, C. y Martínez Goytre, J. (1987). *Mapas predictores de riesgos de inundaciones en núcleos urbanos: Vinaroz, Benicarló, Villarreal, Burriana, Algemesí, Alcira, Carcagente, Gandía, Ondara, Jávea, Benidorm, Orihuela*. Serie Geología Ambiental, IGME, Madrid, 177 págs., 12 planos (1:5.000 y 1:10.000) y anexo Cálculos Hidráulicos (2 vol.). NIPO 232-87-003-1; ISBN 84-505-6996-6; DL M-40898-1987.
- Durán, J.J.; Martínez, J. y Peña, J.L. (1989). *Mapas predictores de riesgo de inundaciones en los núcleos urbanos de Güímar y Playa de Las Américas (Tenerife)*. Serie Ingeniería Geoambiental, ITGE, Madrid, 42 págs. y 1 mapa pleg. (1:5.000). NIPO 232-91-003-5, ISBN 84-7840-061-3, D.L. 9283/91.
- Ayala, F.J. (Dtor.) (1990). *Estudio de riesgos naturales en la ciudad de Alcoy. Parte I- Riesgo de avenidas. Parte II- Vulnerabilidad y riesgo sísmico*. Serie Ingeniería Geoambiental, ITGE y Excmo. Ayto. de Alcoy, Zaragoza, 2 vol, 214 págs. y 3 map. pleg. (1:5.000). D.L. Z-1152/90.
- Benito, G.; Lain-Huertas, L.; Rey, R.; Machado, M.J.; Ojeda, R. & Romanos, M.J. (1996). *Palaeotagus Database: Regional Palaeoflood Information for evaluating Flood Hazard and Water Resources in Central Spain*. GLO-COPH'96 Abstracts of Conference Papers, Toledo, pp. 31.
- Díez, A. y Lain, L. (1997). Aportaciones de los estudios del ITGE (MIMAM) a la prevención del riesgo de inundaciones en España. *I Seminario Iberoamericano sobre Nuevas Tecnologías y Gestión de Catástrofes*, Sesión A- Inundaciones. Dirección General de Protección Civil (Ministerio del Interior), Rivas-Vaciamadrid (Madrid), 22-26 de Septiembre.

- Díez, A. (1997). Aplicación de la planificación para prevención de riesgo hidrológico en ámbito municipal. *Diario de Sesiones del Senado*, VI Legislatura, Comisiones, Num. 162, 10-14. Comisión especial sobre la prevención y asistencia en situaciones de catástrofe, Sesión Informativa celebrada el lunes, 23 de junio de 1997, número de expediente 713/000327. D.L. M-12580/1961.
- Díez-Herrero, A.; Benito, G & Lain, L. (1998). Regional palaeoflood databases applied to flood hazards and palaeoclimate analysis. In: G. Benito; V.R. Baker & K.J. Gregory. *Palaeohydrology and the Hydrological Sciences*. Chapter 24, pp. 335-347, John Wiley & Sons Ltd., Chichester (England). ISBN 0-471-98465-5.
- Díez, A. y Lain, L. (1998). Aportaciones de los estudios del ITGE a la prevención del riesgo de inundaciones en España. En: Gómez, A. y Salvador, F. (Eds.), *Investigaciones recientes de la Geomorfología española*, págs. 603-612, Universitat de Barcelona y S.E.G., Barcelona. ISBN 84-87779-33-6; D.L. HU-312-98.
- Benito, G.; Fernández de Villalta, M.; Díez, A.; Lain, L. (1999). Base de datos Paleotagus: incorporación de la información paleohidrológica en un SIG para el análisis de riesgos naturales. En: L. Lain (Ed.), *Los Sistemas de Información Geográfica en los Riesgos Naturales y en el Medio Ambiente*, Capítulo 1, pp. 21-31 ITGE (Ministerio de Medio Ambiente), Madrid. ISBN 84-7840-385-X; D.L. M-41490-1999; NIPO 320-99-010-9.
- Díez, A. y Pujadas, J. (2002): Mapas de riesgos de inundaciones. En: F.J. Ayala y J. Olcina (Coords.), *Riesgos Naturales*. Cap. 53, págs. 997-1012, Editorial Ariel, Ariel Ciencia, 1ª edición, 1512 págs., Barcelona. ISBN 84-344-8034-4. D.L.: B 40.944-2002.
- Díez, A. (2003). *Geomorfología e Hidrología fluvial del río Alberche. Modelos y SIG para la gestión de riberas*. Serie Tesis Doctorales nº 2. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España (Ministerio de Ciencia y Tecnología), Madrid, 587 pp.+ anexo + CD-ROM. ISBN 84-7840-477-5; D.L. M-10998-2003; NIPO 405-03-012-3.
- García López-Davalillo, J.C.; Ortega Becerril, J.A. y Ferrer Gijón, M. (2004). Inundaciones históricas en la ciudad de Cartagena: su relación con las precipitaciones y la ocupación urbana del medio natural. Publicación: VI Congreso Geológico de España, Zaragoza. En: *Geo-Temas*, vol.6(1) pp. 335-338. ISSN: 1567-572.
- Benito, F.; Rico, M.; Sánchez-Moya, Y.; Sopeña, A.; Thorndycraft, V.R.; Díez-Herrero A.; Casas, M.A. (2005). Palaeoflood hydrology in the Guadalentin River, SE Spain. In: F. Gutiérrez, M. Gutiérrez, G. Desir, J. Guerrero, P. Lucha, C. Martín, J.M. García-Ruiz (Eds.), *Abstracts Volume, Sixth Intenational Conference on Geomorphology*. Fluvial Geomorphology and Palaeohydrology, pag. 91. Zaragoza (Spain) September 7-11, IAG-SEG-UZAR, D.L. Z-2.162/2005.
- Díez-Herrero, A.; Benito, G.; Porat, N. & Gutiérrez-Pérez, I. (2005). Upper Pleistocene palaeofloods in the Duratón River gorge (Central Spain). In: F. Gutiérrez, M. Gutiérrez, G. Desir, J. Guerrero, P. Lucha, C. Martín, J.M. García-Ruiz (Eds.), *Abstracts Volume, Sixth Intenational Conference on Geomorphology*. Fluvial Geomorphology and Palaeohydrology, pag. 113. Zaragoza (Spain) September 7-11, IAG-SEG-UZAR, D.L. Z-2.162/2005.
- Díez-Herrero, A.; Benito & Ruiz-Taboada, A. (2005). The paleohydrological record of historical floods at the Puerta del Vado of Toledo (Tajo River Basin, Central Spain). In: F. Gutiérrez, M. Gutiérrez, G. Desir, J. Guerrero, P. Lucha, C. Martín, J.M. García-Ruiz (Eds.), *Abstracts Volume, Sixth Intenational Conference on Geomorphology*. Fluvial Geomorphology and Palaeohydrology, pag. 113. Zaragoza (Spain) September 7-11, IAG-SEG-UZAR, D.L. Z-2.162/2005.
- Lastra, J.; Fernández, E.; Díez-Herrero, A. & Marquínez, J. (2005). Comparison of geomorphological-historical and hydrological-hydraulic methods in the análisis of flood risks: Some examples of watersheds in the northern Iberian Peninsula. In: F. Gutiérrez, M. Gutiérrez, G. Desir, J. Guerrero, P. Lucha, C. Martín, J.M. García-Ruiz (Eds.), *Abstracts Volume, Sixth Intenational Conference on Geomorphology*. Fluvial Geomorphology and Palaeohydrology, pag. 115. Zaragoza (Spain) September 7-11, IAG-SEG-UZAR, D.L. Z-2.162/2005.
- Llorente, M.; Lain, L.; Díez, A. et al. (2005). Los mapas de peligrosidad geológica de Albuñol (Granada). *I Jornadas de Jóvenes Investigadores del IGME*, Madrid 21-25 de noviembre de 2005. Instituto Geológico y Minero de España.

4.3. Informes internos, trabajos inéditos y proyectos específicamente sobre el riesgo de inundaciones (en orden cronológico)

- IGME (1985). *Dinámica Fluvial de la Plana de Levante (provincias de Castellón y Valencia). Mapas de riesgos* (inédito).
- Ayala, F.J. (Dtor.) (1986). *Estudio geológico para la previsión de riesgos por inundaciones en el País Vasco*, Madrid, 53 págs.+ anejos (2 vol.).
- González, J. (1987). *Estudio sobre las causas de las inundaciones provocadas por el río Calabres en Posada de Llanes y sus posibles soluciones*. Programa de Gestión y Conservación de Acuíferos- Asturias (1986/87), IGME, 29 págs.
- Ayala, F.J.; Ferrer, M.; Conconi, G.O.; Pérez, M. y Gracia, A. (1988). *Estudio del riesgo de erosión de las laderas del Cerro de San Juan que provocan inundaciones de barro y piedras sobre la población de Ballobar*. Huesca. IGME, Madrid, 37 págs., gráficos y mapas.
- Baretino, D.; Pujadas, J. (1992). *Programa I+D en Geología Ambiental. Estudio de avenidas en la cuenca alta del río Francolí (Tarragona). Mapas de peligrosidad por inundación*. ITGE y Servei Geològic de Catalunya, 74 págs, anexos y planos a diversas escalas (1:1.000 y 1:5.000).

4.4. Estudios y cartografías vinculadas con los riesgos geológicos y/o naturales en general (contemplando entre ellos el riesgo de inundaciones)

- IGME. *Mapas geotécnicos y de riesgos geológicos o peligrosidad natural de ciudades* (escalas 1:25.000 y 1:5.000): 1, Alcoy (1983); 2, Almería (1979); 3, Cadiz (1986); 4, Gijón (1986); 5, Granada (1980); 6, Huelva (1979); 7, Málaga (1980); 8, Palma de Mallorca e Inca (1980); 9, Pamplona (1987); 10, Sagunto (1985); 11, Sevilla (1975); 12, Zaragoza (1987); 13, Murcia (1986); 14, Vigo (1987); 15, Valladolid (1987); 16, León y su aglomeración urbana (1991) ISBN 84-7840-074-5; 17, Ponferrada y su entorno (1991) ISBN 84-7840-074-3.
- Ayala, F.J. (Dtor.) y otros (1986). *Mapa Geotécnico y de Riesgos Geológicos para la ordenación urbana de Murcia*. Instituto Geológico y Minero de España. Memoria final de proyecto técnico (inédita).
- Ayala, F.J.; Durán, J.J. y Peinado, T. (Coords.) (1987). *Riesgos geológicos*, Serie Geología Ambiental, IGME, 333 págs. NIPO: 232-87-003-1; ISBN: 84-505-7599-0; DL: M-17984-1988.
- IGME (1987). *Video de Riesgos Geológicos. La Tierra Viva*, sistema VHS/BETA, duración 40 minutos.
- Ayala, F.J. (Dtor.) (1987). *Geología y Medio Ambiente. Guía didáctica. Colección de diapositivas. Environmental Geology. Didactic Guide. Collection of 125 slides*. Serie Medio Ambiente, IGME, Madrid, 68 págs.
- Ayala, F.J. (Dtor.) (1987). *Riesgos geológicos. Guía didáctica. Colección de diapositivas*. Serie Geología Ambiental, IGME, Madrid, 46 págs y 23 diapositivas de inundaciones. DL M-32684-1987; ISBN 84-505-6636-3; NIPO 232-87-003-1.
- Ayala, F.J. y Elizaga, E. (Dtors.) (1987). *Impacto económico y social de los riesgos geológicos en España*, IGME, Madrid, 91 págs. y 24 mapas. NIPO 232-87-003; ISBN 84-505-7164-2; DL M-879-1988.
- Ayala, F.J.; Durán, J.J. (Dtors.) (1987). *Prevención de riesgos geológicos en Granada. Alhama, Cogollos-Vega, Monachil, Montefrío, Nivar, Los Olivos*, IGME, 2 vols (pag. var.) y mapas 1:5.000.
- Ayala, F.J.; Ferrer, M.; González de Vallejo, L.I. y Beltrán, F. (1988). *Catálogo Nacional de Riesgos Geológicos*. ITGE, Madrid, 263 págs. ISBN: 84-7840-0300-3; NIPO: 232-89-015-3.
- Ayala, F.J. (Dtor.) (1989). *Atlas de riesgos naturales de Castilla y León*. Serie Ingeniería Geoambiental, ITGE, Madrid, 87 págs.+ mapa (1:400.000), 2 vols. NIPO 232-89-015-3; ISBN 84-7840-027-3; DL M-3762-1991.

- Ayala, F.J. y Mulas, J. (1989). Los mapas de riesgos geológicos en la prevención y gestión de desastres naturales en España. En MAPFRE (Ed.), Encuentro Internacional "Catástrofes y Sociedad", pp. 21-40, MAPFRE (ITSEMAT). D.L.: M-34874-1989.
- Durán, J.J. (1990). *Atlas de riesgos geológicos integrados de Alicante*, ITGE y Generalitat Valenciana, 2 tomos, pag. var. y 11 mapas.
- Durán, J.J. y Fresno, F. (1990). *Realización de Síntesis Regionales y Provinciales del Medio Físico*. Granada. ITGE, Madrid, 17 págs. ISBN: 84-7840-067-2; NIPO: 232-89-008-8.
- Ayala, F.J. (Dtor.) (1990). Los peligros naturales en España 1989. Serie Ingeniería Geoambiental, ITGE, Madrid, ISBN 84-7840-052-4.
- Ayala, F.J. (Dtor.) (1991). *Los peligros naturales en España en 1990*. Serie Ingeniería Geoambiental, ITGE, Madrid, 48 págs. ISBN 84-7840-088-5; NIPO 232-91-003-5; DL M-42145-1991.
- Ayala, F.J. (Dtor.) (1992). *Los peligros naturales en España en 1991*. Serie Ingeniería Geoambiental, ITGE, Madrid, 60 págs. NIPO 241-92-010-1; ISBN 84-7840-150-4; DL M-39212-1992.
- ITGE (1993). *Manual sobre los aspectos físicos y matemáticos de los riesgos naturales*, ITGE, 2 vol (Cap. IV, Avenidas), pag. var.
- Ayala, F.J. (Dtor.) (1993). *Los peligros naturales en España en 1992*. Serie Ingeniería Geoambiental, ITGE, Madrid, 64 págs. ISBN 84-7840-160-1; NIPO 241-93-013-2; DL M-6552-1994.
- Ríos Aragües, S. (Coord.) (1994). *Estudio del Medio Físico y de sus Riesgos Naturales en un Sector del Pirineo Central*. ITGE, Unión Europea (Programa Operativo INTERREG) y Gobierno de Aragón. Memoria del proyecto técnico (inédita), 9 tomos, 115 mapas.
- Ayala, F.J. (Dtor.) (1994). Los peligros naturales en España 1993. Serie Ingeniería Geoambiental, ITGE, Madrid, ISBN 84-7840-252-7.
- ITGE (1995). *Reducción de riesgos geológicos en España*. Serie Temas Geológico-mineros. Jornadas sobre la reducción de riesgos geológicos en España. ITGE y Real Academia Española de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 202 págs.
- Mulas, J. (Dtor.); y otros (1995). *Atlas Inventario de Riesgos Naturales de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia*. Instituto Geológico y Minero de España y Comunidad Autónoma de Murcia; con asistencia técnica de CIEPSA. Memoria final de proyecto técnico nov. 2002- nov. 2003 (inédita).
- ITGE (1995). *Atlas inventario de riesgos naturales de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia*, Madrid, 138 págs. y diversos mapas a escala 1:500.000, ITGE y CPTOP, ISBN 84-7840-244-6.
- Ayala, F.J.; Ferrer, M.; Mulas, J.; Ríos, S.; Alfonso, F.; Gazapo, C.; Olcina, J. (1996). *Los peligros naturales en España en 1993*. Serie Ingeniería Geoambiental, ITGE, Madrid, 55 págs. ISBN 84-7840-253-5; DL M-16591-1996; NIPO 241-95-007-1.
- Ferrer Gijón, M.; González de Vallejo, L.I.; García López-Davalillo, J.C.; Ortega Becerril, J.A.; Rodríguez Franco, J. (2000). *Caracterización geotécnica y estudio de peligrosidad sísmica y por inundaciones de la ciudad de Cartagena*. Instituto Geológico y Minero de España y Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio de Murcia. Memoria final de proyecto técnico 1998-2000, 48 págs (inédita).
- Ríos Aragües, S. (Ed.) (2001). *El Medio Físico y su peligrosidad en un sector del Pirineo Central*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie Medio Ambiente, nº 1/2001, Zaragoza, 135 pp.
- Lain, L. (Dtor.); Fábregas, S. y Reoyo, E. (2003). *Mapas de peligros y riesgos geológicos en términos municipales. Panticosa (Huesca)*. Instituto Geológico y Minero de España; con asistencia técnica de Pirinea S.L.. Memoria final de proyecto técnico 2002-2003 (inédita).
- Lain, L. (Dtor.); Fresno, F.; Puente, N.; y Tovar, B. (2003). *Mapas de peligros geológicos en términos municipales. Villafranca del Bierzo (León)*. Instituto Geológico y Minero de España; con asistencia técnica de EPTISA. Memoria final de proyecto técnico 2002-2003, 49 pp. (inédita).

- Ferrer Gijón, M.; González de Vallejo, L.I.; García López-Davalillo, J.C.; Rodríguez Franco, A.; Estévez, A. (2003). *Riesgos geológicos en España. Análisis del impacto y evaluación de daños y pérdidas en los últimos 15 años. Estimación para los próximos 30 años*. Instituto Geológico y Minero de España y Consorcio de Compensación de Seguros; asistencia técnica de Prospección y Geotecnia S.A. Memoria final de proyecto técnico nov. 2001- nov. 2003 (inédita).
- Lain, L. (Dtor.); Fresno, F.; Roldán, R.; y Puente, N. (2003). *Estudio de la peligrosidad natural en el Parque Nacional de Sierra Nevada*. Instituto Geológico y Minero de España; con asistencia técnica de EPTISA. Memoria final de proyecto técnico 2002-2003 (inédita).
- Mulas, J. (Dtor.); Ponce de León, D. (2004). *Estudio y cartografía de los peligros geológicos en la comarca del noroeste de la región de Murcia. Términos municipales de Moratalla, Caravaca de la Cruz, Cehégín, Bullas y Calasparra*. Instituto Geológico y Minero de España, y Consejería de Turismo y Ordenación del Territorio de Murcia; con asistencia técnica de EPTISA. Memoria final de proyecto técnico jun. 2003- nov. 2004 (inédita).
- Ayala, F.J. (Dtor.); Olcina, J.; Vilaplana, A.; Díez, A.; López, F.; y Lain, L. (2004). *Investigación analítica de riesgos naturales en España durante el Decenio Internacional para la Reducción de Desastres Naturales 1990-2000 (Proyecto INARIS)*. Instituto Geológico y Minero de España; con la colaboración de las universidades de Alicante, Barcelona y Castilla-La Mancha. Memoria final de proyecto técnico ene. 2002- dic. 2004 (inédita).
- Ayala, F.J. (Dtor.); Cubillo Nielsen, S.; López Santiago, F. (2004). *Investigación de la influencia de la vegetación en los movimientos de ladera e inundaciones en el marco del cambio climático (proyecto VEGERISK)*. Instituto Geológico y Minero de España y E.T.S. de Ingenieros de Montes de Madrid (UPM). Memoria final de proyecto de investigación jul. 2001- jul. 2004 (inédita).
- Ferrer, M.; González de Vallejo, L.I.; García López-Davalillo, J.C.; Rodríguez, J.A.; Estévez, H.; Trimboli, M. (2004). *Pérdidas por terremotos e inundaciones en España durante el periodo 1987-2001 y su estimación para los próximos 30 años (2004-2033)*. Instituto Geológico y Minero de España y Consorcio de Compensación de Seguros, Madrid, 126 pp. D.L. M-51.694-2004.
- Lain, L. (Dtor.); Reoyo, E.; Fresno, F.; y otros (2005). *Estudio de la peligrosidad geológica en una comarca natural de la Comunidad de Madrid*. Instituto Geológico y Minero de España; con asistencia técnica de EPTISA. Memoria final de proyecto técnico 2004-2005 (inédita).
- Ferrer, M.; González de Vallejo, L.I.; García López-Davalillo, J.C.; Rodríguez Franco, A.; Mulas, J. (2005). *Estudio y cartografía de los peligros geológicos de la Comarca del Altiplano de la región de Murcia*. Instituto Geológico y Minero de España, y Consejería de Industria y Medio Ambiente de la Región de Murcia; con asistencia técnica de Prospección y Geotecnia. Memoria final de proyecto técnico 2004-2005, 234 pp. (inédita).
- Lain, L. (Dtor.); Llorente, M.; Díez, A.; Rubio, J.; Maldonado, A.; Galera, J.M.; Arribas, J. (2005). *Mapas de peligrosidad geológica en el término municipal de Albuñol (Granada)*. Instituto Geológico y Minero de España; con asistencia técnica de Geocontrol S.A.. Memoria final de proyecto técnico 2004-2005 (inédita).
- Ferrer, M.; García López-Davalillo, J.C.; Garrote, J. (2005). *Estudio sobre riesgos geológicos por deslizamientos, inundaciones y sismicidad en la provincia de Granada*. Instituto Geológico y Minero de España y Excm. Diputación Provincial de Granada; asistencia técnica del Dpto. de Ingeniería del Terreno (Universidad de Granada) y EPTISA. Memoria final de proyecto técnico nov. 2002- nov. 2003 (inédita).

5. Agradecimientos

Los autores del capítulo quisieran agradecer su colaboración a todo el personal del Área de Riesgos Geológicos del IGME, y en especial la revisión crítica del texto a Mercedes Ferrer, Joaquín Mulas y Juan Carlos García. Los traba-

jos de documentación se enmarcan en los proyectos “Trabajos de apoyo en cartografía y estudios de peligrosidad y riesgo ante avenidas e inundaciones enmarcados en el Plan PRIGEO” e “Incorporación de métodos geológicos al análisis de peligrosidad por avenidas catastróficas” (GEORIADA), ambos financiados por el IGME.