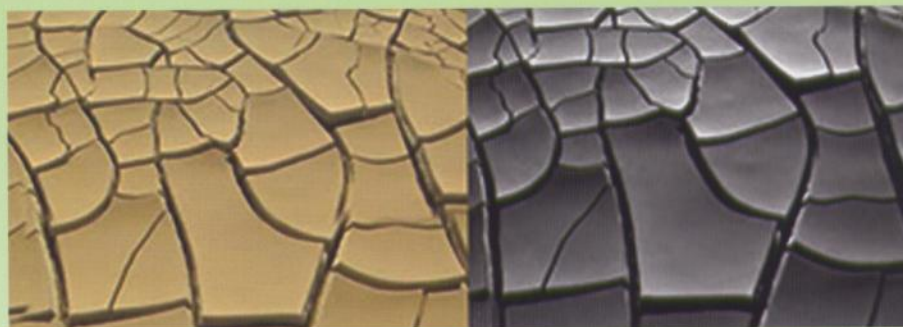


Riesgos naturales y desarrollo sostenible

Impacto, predicción y mitigación



 **Universitat d'Alacant**
Universidad de Alicante
Unidad de Investigación Clima y Ordenación del Territorio

 **planetatierra**
Ciencias de la Tierra para la Sociedad

F.J. Ayala Carcedo
J. Olcina Cantos
L. Lain Huerta
A. González Jiménez



MINISTERIO DE
EDUCACIÓN
Y CIENCIA



Instituto Geológico
y Minero de España

Inundaciones en España. Tipología. La importancia de las avenidas súbitas

A.M. Camarasa Belmonte

Resumen

La España peninsular presenta una variada tipología de inundaciones que, de algún modo, reflejan las características de su entorno morfoclimático. Normalmente los patrones de crecida más regulares pertenecen a las cuencas más grandes de clima oceánico, mientras que la mayor torrencialidad la encontramos en la fachada mediterránea y en pequeñas cuencas de montaña.

En este contexto y en relación con el riesgo, cobran especial importancia las cuencas generadoras de flash floods o avenidas relámpago. Responden a esta tipología las ramblas mediterráneas, de pequeño tamaño, grandes pendientes y circulación espasmódica. Poseen un corto tiempo de respuesta y, en apenas unas horas, pueden originar hidrogramas muy apuntados, con tiempos de base corto y limbos de ascenso muy empinados. Estos hidrogramas llevan implícito un gran riesgo, máxime si contamos con la escasa percepción del mismo por parte de la población, dado que son cauces secos durante la mayor parte del año.

Ante la inmediatez de la catástrofe, la capacidad de reacción por parte de la población expuesta al riesgo es bastante escasa. Tampoco los organismos de Protección Civil tienen mucho margen de maniobra. Por todo ello, cada vez resulta más prioritario el estudio de la génesis de estas avenidas súbitas y el funcionamiento de las ramblas mediterráneas en momento de crecida.

Palabras clave: avenida súbita, inundaciones en España, precipitaciones intensas, ramblas mediterráneas.

1. Introducción

Las avenidas suponen el riesgo natural más común no sólo en España, sino en el planeta entero. Ningún país es inmune a las inundaciones, ya sea por precipitaciones extremas, fusión de nieve o hielo, desbordamiento de canales, rotura de presas o combinación de varios factores. Constituyen, además, un caso un tanto peculiar, puesto que, a diferencia de otros riesgos naturales, resultan necesarias para el correcto funcionamiento de muchos ecosistemas fluviales, donde el desbordamiento de los cauces asegura abastecimiento hídrico suficiente a las zonas húmedas adyacentes, al tiempo que fertiliza y repone los suelos de las cuencas bajas.

Las avenidas constituyen, por tanto, un fenómeno que se espera a la vez que se teme. La presencia del hombre resulta fundamental en la definición de "suceso extremo". De hecho, los eventos naturales que entrañan riesgo son, en realidad, procesos con un amplio abanico de variación. Para poder calificar un episodio de extremo, previamente resulta conveniente acotar ese rango de variación, estableciendo unos límites, más allá de los cuales la sociedad presenta importantes problemas de adaptación. El umbral entre lo admisible y lo peligroso viene definido por cada comunidad humana en función de su capacidad de reacción. De hecho, desde un punto de vista exclusivamente físico resulta imposible proponer valores universalmente válidos que marquen la diferencia entre lo "tolerable" y el "desastre". La figura 1 muestra un ejemplo de este hecho para el caso del agua. Se trata de dos facetas, la del recurso y la del riesgo. Hasta un cierto umbral los fenómenos de crecida, acompañados incluso de procesos de inundación, son apreciados como beneficiosos por las comunidades humanas. Superado dicho umbral, el rápido y concen-

Camarasa Belmonte, A.M. 2006. Inundaciones en España. Tipología. La importancia de las avenidas súbitas. En: Ayala Carcedo, F.J., Olcina Cantos, J., Laín Huerta, I. y González Jiménez, Á. (Eds.). *Riesgos naturales y desarrollo sostenible: impacto, predicción y mitigación*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Medio Ambiente. Riesgos Geológicos N.º 10. 167-178. Madrid

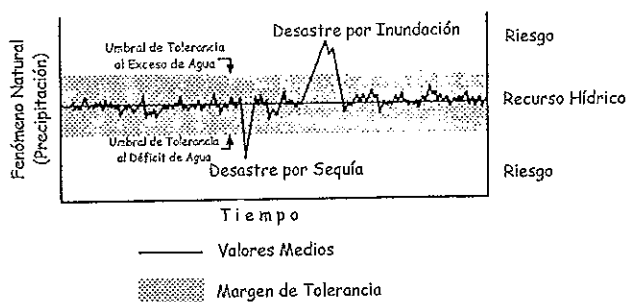


Fig. 1. Concepción de la variable natural agua como recurso y como riesgo en función del grado de adaptación de la sociedad. Fuente: Camarasa et al., 2001, modificado de Smith, 1992.

trado exceso de agua sobrepasa el margen de tolerancia de esas sociedades, incrementando su grado de vulnerabilidad, para convertirse en el factor de riesgo natural que más pérdidas de vidas y bienes ocasiona.

En España esta realidad se refleja de diferente manera en función del tamaño de las cuencas, del entorno morfoclimático en que se encuentran y de su carácter autóctono o alóctono. Es frecuente encontrar patrones hidrológicos más regulares en la franja nordoccidental, de clima oceánico, o en cuencas grandes, con caudal de base asegurado, que en los ríos de la fachada mediterránea, con abundancia de corrientes de circulación efímera, y ramblas autóctonas, desconectadas de los acuíferos y sin caudal de base (Mateu, 1989). Las crecidas son un fiel reflejo de esta circunstancia. En los mismos contextos mediterráneos, no es lo mismo, ni puede tratarse de la misma manera, las grandes cuencas (Turia, Júcar, Segura), con caudales instantáneos de miles de metros cúbicos por segundo, que las crecidas en cuencas de pequeña dimensión, cuyas puntas máximas no sobrepasan el centenar de metros cúbicos por segundo (Nieto et al., 1988).

Tradicionalmente, las cuencas de mayor tamaño han sido mucho mejor estudiadas, debido a su mayor implicación económica en la gestión hídrica (Témez, 1978). Sin embargo, desde hace unas cuantas décadas, se ha despertado un interés creciente por las cuencas pequeñas, de funcionamiento espasmódico, que dan lugar a las denominadas *flash floods* o avenidas súbitas. Este tipo de crecidas entrañan un factor de riesgo importante, ya que presentan hidrogramas muy puntiagudos, con fuertes caudales punta y cortos tiempo de respuesta.

El principal problema a la hora de estudiar y parametrizar estos hidrogramas de crecida reside en la falta de datos. Si ya los ríos españoles de cierta entidad han padecido históricamente de una falta endémica de datos hidrológicos, mucho más deficitario es el registro de caudales para el caso de pequeñas cuencas, a menudo de circulación efímera, y escaso aprovechamiento hídrico. El riesgo que suponen estas cuencas ha evidenciado, sin embargo, su necesidad de estudio. Primer paso obligado ha sido monitorizarlas, con objeto de disponer de datos hidrológicos suficientes y a la escala adecuada, tanto espacial como temporalmente. Desde finales de los años 80, se empiezan a incluir algunas de estas pequeñas cuencas dentro de la red de aforos de sistemas automáticos de registro en tiempo real, como el SAIH (Sistema Automático de Información Hidrológica), hecho que ha permitido avanzar considerablemente en el conocimiento de los mecanismos de formación y propagación de estas avenidas relámpago (Camarasa, 1988).

El presente trabajo repasa la tipología general de crecidas en el ámbito peninsular, prestando una mayor atención a las características de las crecidas relámpago, en base a estudios desarrollados en ramblas valencianas, aforadas por el SAIH-Júcar.

2. Tipología de las inundaciones en España

La formación de las avenidas se produce como respuesta del sistema fluvial a un aporte cuantioso de agua desde

fuera del sistema (lluvia, nieve) o, más esporádicamente, a una alteración súbita de las condiciones hidrológicas del río (terremotos, derrumbamiento de presas). En ambos casos la cuenca fluvial actúa adaptándose a las condiciones energéticas del momento, mediante procesos de erosión, transporte o sedimentación. Es durante las crecidas cuando se produce el mayor trabajo geomorfológico, consecuencia de la conversión de ingentes entradas de precipitación y energía en salidas de caudal y materiales sólidos.

Para entender los mecanismos de generación de avenidas resulta imprescindible conocer las características de las entradas al sistema, así como los rasgos geomorfológicos de la cuenca, que va a actuar como elemento conversor de la lluvia en caudal.

2.1. Lluvias torrenciales

En España, la mayoría de las inundaciones se deben a causas climáticas, en concreto a precipitaciones extraordinarias de gran intensidad. Existen, no obstante, ríos de régimen nivo-pluvial (afluentes pirenaicos del Ebro -Aragón y Gállego-; ríos Sella y Nalón en la cornisa cantábrica, o algunos derrames del Sistema Central) y nival (curso superior del río Caldarés y del Sallent; cabeceras del Cinca y Esera; el Segre o los colectores de las cumbres de Sierra Nevada) cuyas crecidas, concentradas en la primavera y principios del verano, presentan una clara componente de fusión.

De menor a mayor torrencialidad, las lluvias que originan avenidas pueden ser de tipo frontal (de varios días de duración y gran extensión superficial), de tipo convectivo a media o gran escala (cuya duración raramente supera las 24 horas) o de tipo convectivo a pequeña escala (de unas horas de duración, pero intensidades muy importantes que superan los 100 mm/h).

Las lluvias de origen frontal se producen fundamentalmente en invierno, asociadas a la ciclogénesis del frente polar. Los frentes se generan en el Atlántico y, en su desplazamiento hacia el este, barren la Península Ibérica, especialmente en su mitad nordoccidental. Afectan a áreas de gran extensión y su actividad puede perdurar durante varios días, aunque con bajas intensidades.

Este tipo de temporales supone una entrada abundante de agua a los sistemas fluviales, con una distribución espacial bastante homogénea y continua. Sin embargo, la baja intensidad a la que precipitan origina hidrogramas en forma de triángulo equilátero, en los que el limbo de ascenso ocupa varios días y el tiempo de base puede durar incluso semanas. Son crecidas que se registran preferentemente en las cuencas atlánticas del N y NW peninsular o en el sector de influencia cántabro-pirenaica de la cuenca del Ebro. También pueden afectar, aunque en menor medida, a las cabeceras de los ríos mediterráneos alóctonos como el Segura, el Júcar o el Turia.

Entrañan un tipo de riesgo vinculado sobre todo a daños materiales, habida cuenta que suelen presentar un tiempo suficiente de anticipación que permite evitar daños personales. Algunas vegas gallegas, como la del Sar en Padrón o la del Umia en Caldas de Reis, constituyen ejemplos de cuencas sometidas a este tipo de avenida (Rodríguez Martínez-Conde *et al.*, 2000).

Las lluvias convectivas, ya sean de escala regional o local, son más torrenciales que las frontales y, como consecuencia, originan crecidas mucho más espasmódicas y con menor tiempo de reacción por parte de la población sometida al riesgo.

A menudo combinan una situación depresionaria fría en altura con flujos de procedencia marítima en superficie (de levante en la fachada mediterránea, del suroeste en el litoral atlántico y del norte en la fachada cantábrica). Presentan un calendario muy ligado al lugar que ocupan en la geografía ibérica. En la franja septentrional los eventos torrenciales ocurren sobre todo en verano y en los meses de febrero y marzo. En el interior peninsular las mayores intensidades se alcanzan en julio y agosto, cuando la termoconvectividad es fácil de activar debido al fuerte recalentamiento superficial (Olcina, 1994). En la fachada levantina, el otoño es la estación que entraña mayor riesgo, por

la concurrencia de varios factores: la inercia térmica del mar Mediterráneo (recalentado durante el verano y proclive a la transferencia de calor y agua a la atmósfera); el efecto de "disparo orográfico" que producen los relieves que orlan las costas mediterráneas; y la exageración del gradiente térmico vertical, consecuencia de columnas de aire muy recalentadas en la base y con una "gota fría" en altura. Estas situaciones de inestabilidad atmosférica generan precipitaciones torrenciales de gran variabilidad espacio-temporal.

2.2. Tipología de cuencas de drenaje y sus espacios inundables

Las lluvias torrenciales precipitan sobre las cuencas de drenaje, donde tiene lugar la conversión de la lluvia en caudal. Resulta fundamental conocer las características de la cuenca, puesto que pueden suponer un factor, bien de intensificación bien de mitigación, de la crecida. Aunque estos rasgos son propios de cada cuenca, se podrían resaltar algunas características generales, comunes al conjunto de una determinada región geográfica.

Las cuencas de la vertiente cantábrica

Deben su alta peligrosidad a varios factores. En primer lugar la proximidad de los relieves al mar implica ríos de corto recorrido y gran pendiente, lo que supone un corto tiempo de concentración para las cuencas. En segundo lugar los coeficientes de escorrentía son altos –entre 0.5 y 0.7– debido al predominio de rocas impermeables, baja transmisividad de los suelos y densa urbanización. En tercer lugar la forma de las cuencas conlleva gran probabilidad de coincidencia de las puntas de avenida. En cuarto lugar destaca la gran ocupación antrópica de los escasos sectores llanos, como consecuencia de un desarrollo poblacional e industrial rápido, intenso y poco planificado. Por últi-

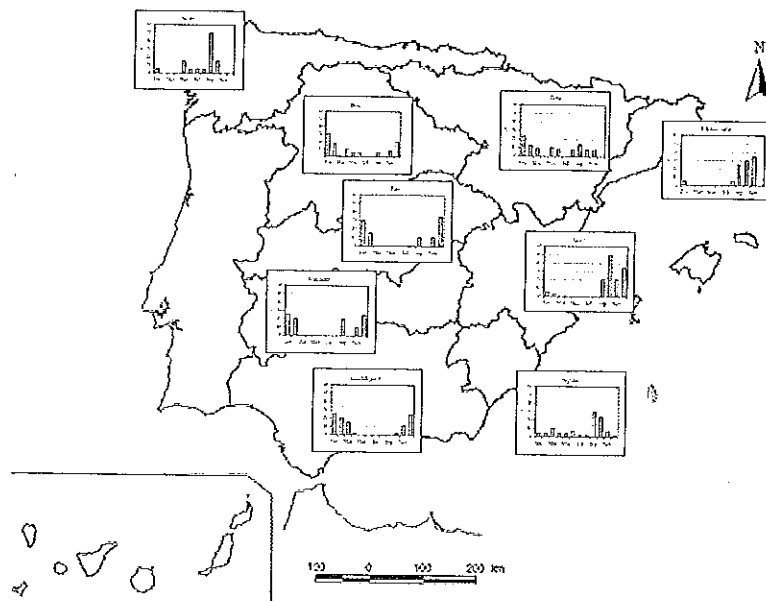


Fig. 2. Distribución mensual de avenidas en España. Fuente: Camarasa, 2002, Libro Blanco del Agua, 1998.

mo, no hay que olvidar las dificultades de desagüe, derivadas de la desembocadura de las cuencas en costas afectadas por fuertes pleamares y oleaje (Ibáñez *et al.*, 2000).

Consecuencia de esta configuración geomorfológica es la formación de avenidas súbitas, muy parecidas a las que se producen en las cuencas mediterráneas (Prieto y Lamas, 1985), que evacuan grandes volúmenes de agua y sedimento en muy poco tiempo y a gran velocidad. Se registran, así, fuertes puntas de caudal, como los 3.059 m³/s que se estimaron para la crecida del Río Nervión en Bolueta, en agosto de 1983 (Ibáñez *et al.*, 2000) ó los 1.203 m³/s que pasaron por el Oria (Guipuzcoa) el 1 de enero de 1981 (Ollero y Ormaetxea, 1996).

En la cornisa cantábrica, las inundaciones son especialmente importantes en el País Vasco. El área más vulnerable se encuentra en la Ría de Bilbao, ubicada a la salida de la confluencia Nervión-Ibaizabal. El riesgo en esta zona se ve incrementado por el proceso de urbanización e industrialización del Gran Bilbao y del valle Nervión. Otros enclaves problemáticos son Llodio en el Nervión, Donostia-San Sebastián en el Urumea, Lasarte, Andoain y Tolosa en el Oria o Rentería en el Oiartzum (Ibáñez *et al.*, 2000).

En territorio gallego, las zonas de riesgo más significativas las encontramos en las principales rías atlánticas, desde la desembocadura del Verdugo-Oitaván, en la Ría de Vigo, hasta la del Tambre en la Ría de Muros-Noia. Destaca la Ría de Arousa, en la que desembocan las cuencas del Umia y del Ulla. Aguas arriba de estos ríos encontramos otros puntos, tradicionalmente conflictivos, en Caldas de Reis y Padrón (Martínez-Conde *et al.*, 2000).

La cuenca del Ebro

Podemos distinguir dos tipos diferentes de crecida, en función de sus características hidrogeomorfológicas. Por un lado destacan las pequeñas subcuencas de cabecera que bajan del Pirineo y de la Cordillera Ibérica, así como los barrancos y ramblas de orden bajo de la Depresión del Ebro. Son cuencas de reducido tamaño, gran pendiente y alta peligrosidad. Son propensas a generar avenidas súbitas, a veces sobre cauces secos, con una gran capacidad de erosión y transporte. Especial mención merece el caso del Barranco de Arás, en el Pirineo Central, que, el día 7 de agosto de 1996, llegó a concentrar un caudal máximo de 500 m³/s en una cuenca de 18 km², con un tiempo de concentración de 30 minutos (García Rufz *et al.*, 1996).

Los casos más importantes de crecida en esta cuenca, se producen, no obstante, en el curso medio y bajo del Ebro y en sus afluentes principales. Aquí, las crecidas son más largas y lentas y los hidrogramas ocupan semanas. Sin embargo, el adecuado escalonamiento en la llegada de los afluentes evita la coalescencia de las mayores descargas (los máximos del Arga-Aragón suelen llegar un día antes que los del alto Ebro) (Ollero, 1996). Son habituales las avenidas voluminosas con uno o varios picos, que pueden superar caudales punta medios de 3.000 m³/s, llegando, incluso a los 4.950 m³/s, como ocurrió el 31 de diciembre de 1960, en Castejón. El progresivo ensanchamiento del canal, la traslación de la onda y los propios procesos de desbordamiento provocan la laminación de la crecida aguas abajo. Por esto, la misma crecida reduce su máximo a 4.130 m³/s en Zaragoza, dos días después (Ollero, 1996).

En la cuenca del Ebro, los sectores de máximo riesgo se producen en los llanos de inundación extensos, como el Ebro de meandros libres (de Logroño a Zaida), los cursos bajos del Arga y el Aragón o el entorno de Vitoria en la Llanada Alavesa. También destacan por su grado de riesgo, las cuencas interiores de baja pendiente, como Pamplona (afectada por el Arga) y los puntos de confluencia, como Sangüesa o Miranda del Ebro (Ollero, 1996). A estos espacios habría que añadir los puntos críticos, asociados a pequeños valles de montaña, en la vertiente meridional de Pirineos.

La cuenca del Guadalquivir

Constituye un ámbito de alta peligrosidad por la confluencia de factores como el fuerte contraste topográfico

entre las sierras de los Sistemas Béticos y las depresiones interiores, el predominio de materiales impermeables y la influencia de las mareas altas en el desagüe de las avenidas. Todo ello provoca problemas en sectores como Sevilla y su entorno, donde el río ha llegado a alcanzar máximos de 10.000 m³/s (Borja y Díaz del Olmo, 1989). A pesar de que se trata de una cuenca muy regulada, la gestión de los embalses es especialmente difícil en este ámbito. Tras un período de sequía prolongado, no es inusual que, cuando llueve, se alcancen altos niveles de almacenamiento, por encima del umbral de seguridad. Si continua lloviendo, desembalses rápidos y forzados han contribuido a agravar los problemas de inundación. Ejemplos de esto los encontramos durante el episodio de diciembre de 1996 en el embalse de Torre del Águila, que puso en peligro a la población de Utrera y Los Palacios, o en los embalses de Bornos y Arcos que, durante este mismo episodio, provocaron el desbordamiento del Guadalete.

Cabe resaltar la peligrosidad que presenta la fachada mediterránea de Andalucía, concentrada, fundamentalmente, en el sector suroriental. Las zonas de mayor riesgo se localizan en Málaga (río Guadalmedina y Guadalhorce, desde Cártama al mar) y en las costas granadina y almeriense, en torno a los ríos Guadalfeo, Adra, Andarax y Almanzora.

Las cuencas del interior peninsular

Son las menos torrenciales. Se trata de cuencas alargadas, de baja pendiente y largo recorrido, que presentan hidrogramas muy duraderos. En los últimos 500 años destacan, no obstante, 19 inundaciones de los ríos Tajo y Alberche en Talavera de la Reina. Especial mención merecen los 16.000 m³/s registrados en Puentes de Rodão, en enero de 1912, frente a un caudal medio de 500 m³/s (Solé Sabarís, 1981).

En el caso del Guadiana, sus condicionantes litroestructurales configuran una cuenca de gran regulación y muy poca propensa a inundaciones. Gran parte de su recorrido se realiza sobre la llanura manchega, de gran permeabilidad y escasa pendiente, lo que favorece una importante circulación subterránea, en detrimento de la superficial. Esta regulación condiciona una respuesta que, aunque puede ser importante, se produce de una manera gradual. Un ejemplo lo constituye la crecida registrada en Mérida, en enero de 1970. Presenta una punta de casi 4.500 m³/s, pero tarda cinco días en alcanzarla y luego la mantiene durante tres días más. El hidrograma tiene forma de triángulo equilátero y dura 18 días. Con respuestas de este tipo, la población tiene mucho mayor tiempo de reacción en caso de peligro.

Las cuencas de la vertiente mediterránea

Son las que entrañan un peligro mayor. La proximidad entre los relieves y la costa ha propiciado el desarrollo de cuencas de gran pendiente y alta torrencialidad (Mateu, 1988). Sobre este rompecabezas topográfico se configuran dos tipos de cuencas: las de mayor dimensión, carácter alóctono y caudal perenne, como el Júcar, el Turia o el Segura; y las pequeñas cuencas de circulación efímera, gran pendiente y régimen torrencial, conocidas como ramblas.

Característica común a ambos tipos de cuenca es una litología predominantemente permeable que favorece las pérdidas hídricas hacia conductos subterráneos. Esto implica una reducción considerable del caudal superficial, de modo que, cuando los cauces no están conectados con los acuíferos, como es el caso de las ramblas, la circulación se vuelve intermitente, dependiendo, casi en exclusiva, del agua de lluvia. Otro factor de gran influencia en las cuencas mediterráneas es la intensa y antigua ocupación antrópica del territorio, que ha provocado una fuerte decapitación de los horizontes edáficos y de la cubierta vegetal, propiciando la rápida concentración de escorrentía superficial.

Registros históricos de picos de crecida de gran magnitud, los encontramos en prácticamente todos los ríos del litoral mediterráneo. El río Turia, durante los días 13-14 de octubre de 1957 llegó a alcanzar un caudal máximo ins-

tantáneo de 3.700 m³/s (su módulo es de 15 m³/s). El río Júcar, en la tristemente famosa avenida de octubre de 1982, agravada por la rotura de la presa de Tous, alcanzó crestas de avenida de más de 5.000 m³/s, con puntas instantáneas de 13.000 m³/s (frente a un módulo de 34 m³/s en Alzira). En el río Segura destaca la riada de Santa Teresa (14 de octubre de 1979) en que llegó a multiplicar su módulo por 10.000 (Rosselló, 1995).

En la franja mediterránea las principales zonas de riesgo están asociadas a las cuencas hidrográficas del Júcar, del Segura y del Sur. La Ribera del Júcar ha constituido, desde siempre, una zona especialmente problemática. Conforma un amplio llano de inundación (300 km²), suma de la acción combinada de los ríos Júcar, Magro, Albaida y Sallent. Su configuración geométrica, fundamentalmente convexa, sumada al efecto estrangulador del abanico del Magro contra el cauce del Júcar y a la intensa ocupación humana, implican un riesgo creciente para poblaciones como Alzira y Carcaixent, entre otras. Especial mención merece la ya mencionada inundación de 1982, agravada por la rotura de la presa de Tous, en que la superficie anegada alcanzó los 290 km² (Mateu y Carmona, 1991).

La vega del Segura constituye otra cuenca especialmente expuesta al riesgo. Murcia y Orihuela han sido tradicionalmente las poblaciones más afectadas. Lorca y Cartagena también sufren problemas de inundación, causados por el Guadalentín y la Rambla del Hondón, respectivamente.

Todo el territorio mediterráneo (incluidas las islas Baleares) presenta, además, zonas puntuales de riesgo localizado producido por ramblas y barrancos. Sirva de ejemplo la amenaza que supone para Almería, las ramblas de Belén, Chanca, Caballar y Obispo; para el área metropolitana de Alicante los barrancos de Orgegia, Juncaret y de las Ovejas; para el área metropolitana de Valencia el Barranc de Carraixet y la Rambla de Poyo, o, para Mallorca el torrente de Sa Riera.

3. Generación de las avenidas relámpago

Como puede observarse, avenidas relámpago pueden aparecer en muy diversos puntos de la geografía española, siempre y cuando se den las condiciones necesarias. Sin embargo, no podemos negar que es en la vertiente mediterránea, donde se observa una mayor frecuencia de estas crecidas, asociadas a las ramblas de circulación espasmódica.

En estos espacios coinciden fácilmente intensas precipitaciones de gran concentración temporal con cuencas de drenaje de respuesta rápida. Desde el punto de vista hidrológico, la circulación depende casi exclusivamente de la lluvia, dada la persistente desconexión entre freáticos y lechos fluviales (Mateu, 1982; Segura, 1990), que origina la ausencia de caudal de base (salvo en los casos en que los cauces corten acuíferos colgados locales). Desde el punto de vista geomorfológico las ramblas suelen drenar cuencas pequeñas, labradas a menudo sobre litologías permeables, con grandes pendientes, y amplios valles de fondo plano, que responden a la morfología de *braided*.

Estos sistemas, secos la mayor parte del año, resultan especialmente virulentos en momentos de crecida. Las enormes pendientes junto con la gran cantidad de sedimento disponible para su movilización y transporte dotan al sistema de una gran energía potencial, desencadenada, a menudo de forma violenta, con las intensas lluvias tormentosas.

Los sistemas fluviales efímeros se activan durante sucesos extraordinarios, de poca frecuencia y alta magnitud. La dinámica del sistema durante la mayor parte del año queda relegada a su mínima expresión, habida cuenta de la falta de entradas o, dicho de otro modo, de precipitaciones. En efecto, la semi-aridez propia de climas mediterráneos junto a la falta de caudal de base propicia que los canales solamente conduzcan agua durante escasos días al año, resultado de intensas precipitaciones. En consecuencia, hablar de hidrología en ramblas es tanto como hablar de crecidas.

La intensidad de la precipitación es un factor de capital importancia en la generación de la avenida súbita. En la red SAIH del Júcar es habitual registrar intensidades máximas cincominutales superiores a los 120 mm/h en algún

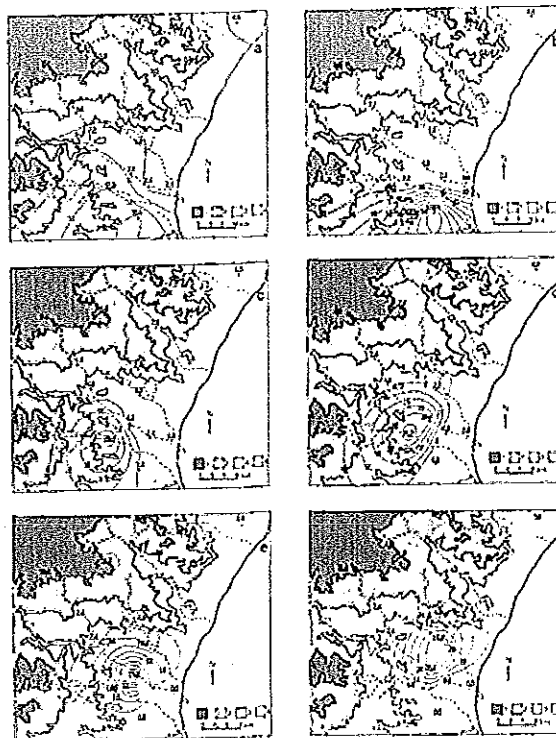


Fig. 3. Cartografía de intensidad de precipitación durante 40 minutos -día 11 de noviembre de 1998-:
a) 10:15, b) 10:20, c) 10:35, d) 10:40, e) 10:45 y f) 10:50. Fuente: Camarasa, 1991.

punto de control, al menos una vez al año. Para episodios de cierta entidad es frecuente encontrar hietogramas con intensidades máximas de más de 100 mm/h, mientras que las medias apenas alcanzan los 3 ó 4 mm/h y los coeficientes de variación ascienden fácilmente al 300% (Camarasa, 1994). Cuando hablamos de máximos, se pueden alcanzar valores muy importantes, como lo demuestra la célula convectiva aislada que se produjo durante el día 1 de julio de 1993 sobre Manuel (cuenca del Río Albalá). Precipitaron 120 mm en tan sólo una hora. Las intensidades máximas superaron los 350 mm/h y durante 20 minutos la intensidad no descendió de los 200 mm/h (Camarasa, 1994).

La concentración temporal de la precipitación se debe a la actividad de potentes células convectivas. De hecho, la estructura espacial de la lluvia responde a un patrón de naturaleza jerárquica, compuesto por células convectivas (unos 10 km² de superficie), áreas mesoescálicas de pequeña o gran escala (entre 100-500 km² y 1.000-10.000 km² respectivamente) y áreas sinópticas (> 10.000 km²) (Austin y Houze, 1972; Sharon, 1972; Gupta y Waymire, 1979; Waymire y Gupta, 1981). Las células son los elementos más pequeños, tienen forma elipsoidal y pueden alcanzar intensidades superiores a los 100 mm/h. Son móviles en el espacio y dinámicas en su desarrollo interno y pueden originarse aisladamente o en el seno de estructuras meso y macroescalares. Todas las escalas incluidas en el área sinóptica pueden aparecer conjunta o individualmente pasando por todas las combinaciones intermedias (Camarasa, 1993). Poseen su propio movimiento y fases de desarrollo. Así, la tormenta puede desplazarse sobre la cuenca fluvial, siendo la velocidad y dirección de este movimiento un factor fundamental para la forma del hidrograma. Un ejemplo lo podemos seguir en la figura 3 donde se recoge la evolución, durante 40 minutos, de una tormenta sobre

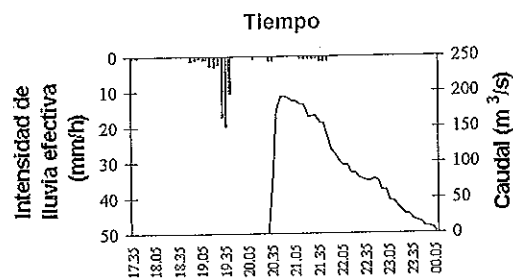


Fig. 4. Hidrograma registrado por el SAIH en la Rambla de Poyo (Valencia), días 11-12 de noviembre de 1988. Fuente: Camarasa, 1995.

la costa levantina que va afectando, progresivamente a las cuencas de la Rambla de Poyo, Río Turia y Barranc del Carraixet.

Este tipo de lluvias precipitada sobre ramblas de corto recorrido, gran pendiente y escasa cobertura vegetal, provoca crecidas de tipo *flash-flood* o avenida súbita, concentrando un gran caudal punta en un corto espacio de tiempo (a pesar de presentar grandes pérdidas hídricas, que pueden alcanzar el 17% del agua precipitada). Un caso ilustrativo lo encontramos en las inundaciones de 1989 en Mallorca, donde se llegaron a estimar caudales máximos instantáneos de 1.000 m³/s en cuencas de menos de 20 km² de superficie (Grimalt, 1991). Estas crecidas dan lugar a hidrogramas muy apuntados, con tiempo de base corto, limbo de ascenso empinado y descenso más lento, en ocasiones, truncado por la brusca infiltración de la avenida. La figura 4 constituye un ejemplo de este tipo de hidrogra-

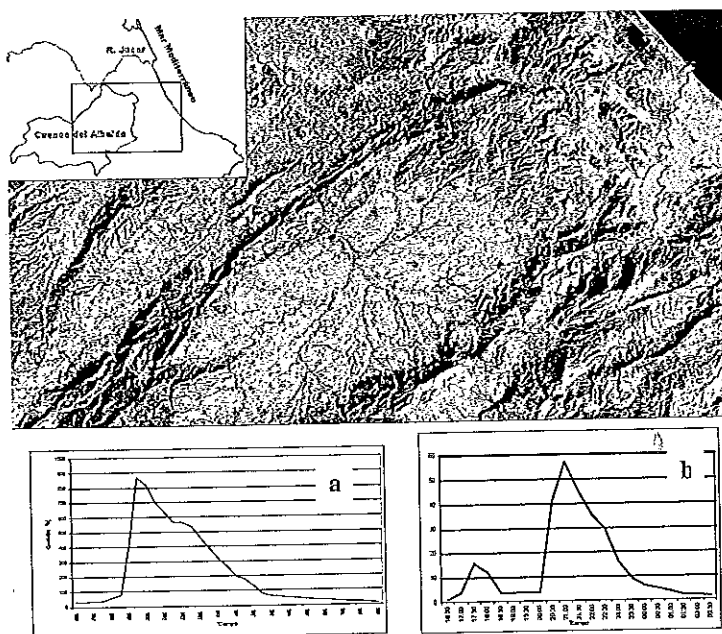


Fig. 5. Crecidas del río Albaida en Manuel. Ubicación de la zona de estudio (imagen Landsat 5, TM) e hidrogramas registrados por el SAIH: a) avenida del 30-9-1997 y b) avenida de los días 4 y 5 del 10 de 1991. Fuente: Camarasa, 2002.

ma, registrado en la Rambla de Poyo (Valencia) en noviembre de 1988. Presenta una onda única, que parece responder a la formación de un frente de ola móvil, ya que en 15 minutos pasa de no llevar agua a vehicular el caudal punta $-193 \text{ m}^3/\text{s}$, para un área de 187 km^2 . El tiempo de base es de apenas 3 h 30' y el de retraso de 1h 50'. Únicamente circula un 8% del agua precipitada (Camarasa, 1995).

Es importante también la forma de la cuenca y la configuración de la red de drenaje. Los hidrogramas más peligrosos se producen en cuencas redondeadas, con redes radiales que propician la coalescencia de picos de avenida. Un ejemplo de esto lo encontramos en la cuenca del Río Albaida (afluente del Júcar), donde gran parte de su cuenca es redondeada y labrada sobre materiales impermeables. Ello favorece la formación de hidrogramas apuntados, con un corto tiempo al pico. La figura 5 muestra dos hidrogramas de diferente magnitud, con picos de $865 \text{ m}^3/\text{s}$, en la avenida de septiembre de 1997, y $57 \text{ m}^3/\text{s}$, en la de octubre de 1991. A pesar de la diferencia de caudal, ambos presentan tendencia a la rápida concentración de la punta (1 hora), como consecuencia de la influencia de la cuenca (Camarasa, 2002).

El margen de reacción de la población ante el riesgo es muy reducido, máxime si tenemos en cuenta que la percepción del riesgo puede estar muy distorsionada por el hecho de que son cauces habitualmente secos. A ello hay que añadir el protagonismo de los abanicos aluviales como zona inundable muy común en este tipo de cursos abanicos con tendencia erosiva, los canales están bien marcados y el exceso de caudal puede abrir nuevas vías o utilizar los paleocanales. Estos paleocanales son cauces que fueron activos en momentos pretéritos y que, aunque en la actualidad suelen permanecer secos, pueden entrar en funcionamiento en caso de crecida torrenciales. Los abanicos son formas deposicionales, que se deben fundamentalmente a una brusca ruptura de pendiente. Se originan allí donde los cursos fluviales confinados pierden competencia porque salen a espacios abiertos de menor pendiente. Adquieren entidad en el contacto entre montañas y llanuras o en tramos intramontanos. Presentan una dinámica muy activa como consecuencia de su continua adaptación a las condiciones energéticas del sistema. De hecho, su morfología puede cambiar considerablemente de un episodio a otro.

Las zonas inundables en un abanico tienen relación con su geometría actual, con la tendencia hacia la progradación o la disección y con fases pretéritas de su evolución. Así, en abanicos progradantes con mínimo encajamiento, el desbordamiento puede ser masivo, afectando, sobre todo, a las vaguadas laterales y a los sectores más distales.

En nuestro país, el riesgo asociado a abanicos aluviales tiene mayor importancia de la que se le ha reconocido en el planeamiento urbano. Si bien estas formas no están restringidas a zonas climáticas específicas, adquieren mayor desarrollo en climas semiáridos y de montaña, porque necesitan episodios tormentosos intensos y corrientes torrenciales con gran competencia de transporte. Son propios, por tanto, de un clima mediterráneo y frecuentes en valles glaciares, en desembocaduras costeras de ríos de cierta pendiente o en las confluencias de valles confinados que desaguan en otros más amplios. Sirvan como ejemplo de abanicos problemáticos el del torrente de Arás en Biescas, el de Guadalmedina, en Málaga; el del Palancia, en Sagunto o el del Magro, en su confluencia con el Júcar.

4. Conclusiones

La España peninsular presenta una gran variedad de entornos morfoclimáticos que condicionan una variada tipología de crecidas e inundaciones, desde las que presentan patrones hidrológicos más regulares (cuencas grandes de la franja nordoccidental, de clima oceánico o del interior peninsular) a las que presentan mayor torrencialidad (fachada mediterránea y pequeñas cuencas de montaña).

En la gran mayoría, la formación de crecidas se debe a la entrada de precipitaciones de gran cuantía. La intensidad y regularidad de las precipitaciones, así como las características de las cuencas, determinan los hidrogramas de crecida. Hasta la fecha se han estudiado más aquellas cuencas de mayor tamaño y caudal, ya que económicamente eran mucho más rentables, entendiendo el agua como recurso. Sin embargo, cada vez más, la faceta de riesgo pone

de manifiesto la importancia de las cuencas pequeñas, de corto recorrido y gran pendiente, que suelen originar avenidas del tipo *flash-flood* o relámpago. El nivel de percepción del riesgo en estas cuencas es muy pequeño y de carácter local. Es un fenómeno que suele afectar a ramblas mediterráneas, la mayor parte de año secas, donde el hombre ha ido ocupando progresivamente las zonas inundables. De pronto, con una lluvia intensa, entran en funcionamiento de una manera espasmódica y violenta, dando lugar a la formación de olas móviles que se desplazan por el cauce a gran velocidad, transportando mucha carga sólida, con un gran potencial erosivo. El efecto sobre las zonas inundables resulta devastador, sobre todo cuando afecta a abanicos aluviales, zonas que tradicionalmente no han sido percibidas como espacios de inundación y que, además, son formas muy dinámicas capaces de cambiar su morfología de una inundación a otra.

Por todo ello cada vez resulta más prioritario el estudio de avenidas relámpago en pequeñas cuencas de respuesta rápida. En este sentido cobran especial importancia las ramblas mediterráneas, donde a las condicionantes fisiográficas se suman las características climáticas. Fuertes tormentas de gran variabilidad espacio-temporal suponen una entrada de gran energía al sistema que condiciona su respuesta, favoreciendo la concentración de caudales en una gran punta de avenida. En su traslación por el cauce, el caudal puede desaparecer como escorrentía directa antes incluso de alcanzar el mar. Las llamadas pérdidas por transmisión o fugas en canal son enormemente grandes en estas cuencas. Sin embargo, ello no quita que durante la formación y traslación del pico se haya generado un importante factor de riesgo, subestimado en la mayoría de las ocasiones.

La simulación y previsión de estas avenidas resulta también una tarea harto frustrante, habida cuenta de la falta de medios y, sobre todo, de la carencia endémica de datos hidrológicos suficientemente detallados. En este país, la escala ordinaria de los registros hidrológicos es diaria. Sin embargo, estas crecidas se forman en algunas horas, como respuesta inmediata a una precipitación de gran intensidad. Aún en las cuencas monitorizadas por el SAIH (que recoge datos cada 5 minutos) el tiempo de reacción es claramente insuficiente. Este hecho vuelve prácticamente inoperantes los mecanismos habituales de Protección Civil. Por ello, en estos casos, las tareas más eficaces para combatir el riesgo deben orientarse hacia una adecuada ordenación territorial que "entienda" y tenga en cuenta las peculiaridades de funcionamiento hidrológico de estas cuencas.

5. Bibliografía

- Austin, P.M. y Houze, R.A. Jr. (1972). "Analysis of precipitation patterns in New England", *J. Appl. Meteorol.*, 11, pp 926-934.
- Borja, F. y Díaz del Olmo, F. (1989). "La llanura aluvial del Guadalquivir en el tránsito de los siglos XIX y XX, en Avenidas Fluviales e Inundaciones en la Cuenca del Mediterráneo, Alicante, pp 299-308.
- Camarasa, A.M. (1988). "El SAIH en la Cuenca Hidrográfica del Júcar", *Cuadernos de Geografía*, nº 44, pp 235-240.
- Camarasa, A.M. (1994). "La intensitat de la precipitació" en Pérez Cueva (ed.): *Atlas climàtic de la Comunitat Valenciana*, C.O.P.U.T., 205 pp.; cf. pp. 100-101.
- Camarasa, A.M. (1995). Génesis de crecidas en pequeñas cuencas semiáridas: Barranc del Carraixet y Rambla de Poyo. MOPT-Confederación Hidrográfica del Júcar, 252 pp.
- Camarasa, A.M., Salas, J. y Chuvieco, E. (2001). "Información geográfica y riesgos naturales", *El campo de las ciencias y las artes*, Servicio de Estudios BBVA, pp 103-135.
- Camarasa, A.M. (2002). "Crecidas e inundaciones", en *Riesgos Naturales*, F.J. Ayala-Carcedo y J. Olcina (coord.), editorial Ariel, pp 859-877.
- García-Ruiz, J.M., White, S.M., Martí, C., Valero, B. Errea, M.P. y Gómez, A. (1996). *La Catástrofe del Barranco de Aras (Biescas, Pirineo Aragonés) y su Contexto Espacio-Temporal*, Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, Zaragoza, 54 p.

- Grimalt, M. (1991). "Tipologías de Inundaciones en Mallorca", en XII Congreso Nacional de Geografía. Sociedad y Territorio, Valencia, pp.167-172.
- Gupta, V.K. y Waymire, E.C. (1979). "A stochastic kinematic study of subsynoptic space-time rainfall", *Water Resour. Res.*, no 15 (3), pp 630-636.
- Ibiate, A., Ollero, A. y Ormaetxea, O. (2000). "Las inundaciones en la vertiente cantábrica del País Vasco en los últimos veinte años: principales eventos, consecuencias territoriales y sistemas de prevención", *Serie Geográfica, Departamento de Geografía, UAH*, pp. 177-188).
- Mateu Bellés, J. (1982). *El norte del País Valenciano. Geomorfología litoral y prelitoral*, Universidad de Valencia, 286 p.
- Mateu, J.F. (1989). "Crecidas e Inundaciones", *Gula de la Naturaleza de la Comunidad Valenciana*, pp. 565-608.
- Mateu, J.F. y Carmona, P. (1991). "Riesgos de Inundación en las Riberas del Túria y Xúquer", en XII Congreso Nacional de Geografía. Sociedad y Territorio, Valencia, pp. 237-256.
- Ministerio de Medio Ambiente (1998). *Libro Blanco del Agua en España*, 855 p.
- Nieto, M., Obarti, J. y Garay, P. (1988). "Metodologies per a la determinació del risc d'inundació. La seva aplicació a una conca mediterrànea valenciana (Barranc de Torrent)", *Revista Catalana de Geografia*, nº 8, vol III, pp. 59-71.
- Olcina, J. (1994). *Riesgos Climáticos en la Península Ibérica*, Madrid, 440 p.
- Ollero, A. (1996). *El Curso Medio del Ebro*, Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza, 311 p.
- Ollero, A. y Ormaetxea, O. (1996). "Las aguas de Euskal Herria", *Geografía de Euskal Herria* (Meaza, G. Y Ruiz, E., eds.). Lasarte-Oria, Ostoa: t. 3, pp. 85-240.
- Rodríguez Martínez-Conde, R., Díaz Fierros, F., Puga, J., Vila, R. y Alvarez, M. (2000). "Las inundaciones recientes en Galicia", *Serie Geográfica, Departamento de Geografía, UAH*, pp. 187-210).
- Roselló, V.M. (1995). *Geografía del País valencia*. Ed. Alfons el Magnanim, 640 p
- Segura, F. (1990). *Las ramblas valencianas*, Depto. Geografía, Universidad de Valencia, 229 p.
- Sharon, D. (1972). "The spottiness of rainfall in a desert area", *J. Hydrol.*, 17, pp. 161-175.
- Solé Sabarís, L. (1981). "Las aguas: ríos y lagos", en *Geografía General de España*, ed. Ariel, pp. 182-208.
- Témez, J. (1978). *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*, MOPU Dirección General de Carreteras, 113 p.
- Waymire, E. y Gupta, V.K. (1981). "The mathematical structure of rainfall representations", *Water Resour. Res.*, 17 (5), pp 1261-1272.