

12. IMPACTOS SOBRE LOS RIESGOS NATURALES DE ORIGEN CLIMÁTICO

A. RIESGO DE CRECIDAS FLUVIALES

Gerardo Benito

Contribuyentes

M. Barriendos, C. Llasat, M. Machado, V. Thorndycraft

Revisores

A. Jiménez Álvarez, T. Estrela, A. Díez Herrero

Y. Enzel

RESUMEN

Las condiciones climáticas y de relieve de la Península Ibérica favorecen la generación de crecidas. En España las inundaciones han producido históricamente fuertes impactos socioeconómicos, con más de 1525 víctimas en las últimas cinco décadas. Las crecidas fluviales se producen como consecuencia de anomalías meteorológicas de escala espacio-temporal limitada que no pueden ser representadas en los modelos físicos que predicen los diferentes escenarios de cambio climático futuro. Los posibles escenarios del impacto del cambio climático en el régimen de crecidas se pueden diagnosticar a partir de las relaciones milenarias de la respuesta de las crecidas a los cambios del clima obtenidas a partir de datos geológicos y documentales.

En las cuencas atlánticas, la generación de crecidas, duración y magnitud se encuentran muy ligadas a los cambios en la precipitación invernal. Los registros de paleocrecidas y de crecidas documentales muestran una mayor frecuencia de eventos ordinarios y extraordinarios durante los estadios iniciales y finales de periodos fríos como la Pequeña Edad del Hielo, también conocida como miniglaciación (1550-1850). En el periodo instrumental (1910 hasta la actualidad), los ríos atlánticos han experimentado una disminución de la frecuencia de las crecidas extraordinarias y catastróficas, aunque la magnitud de las mismas se han mantenido e incluso aumentado a pesar del efecto laminador de los embalses. Esta tendencia al aumento de la variabilidad hidrológica se prevé se mantenga en las próximas décadas (incertidumbre media) si tenemos en cuenta la intensificación de la fase positiva del índice de Oscilación del Atlántico Norte (en inglés NAO). En el caso de los ríos Duero y Ebro, los caudales punta pueden verse afectados por fenómenos de deshielo súbito como consecuencia de las variaciones de temperatura de invierno y primavera.

En las cuencas mediterráneas las series de crecidas del pasado indican que las avenidas extremas se han producido durante periodos de elevada irregularidad de la precipitación tanto estacional como anual. En periodos recientes (décadas de los setenta y ochenta) se ha observado un incremento en la generación de las lluvias intensas, algunas causantes de crecidas extraordinarias con caudales máximos superiores a los registrados en las estaciones de aforo en la primera mitad del siglo XX (anteriores a la construcción de embalses). En este sentido, los datos existentes apuntan (incertidumbre alta) a que el incremento de la temperatura puede aumentar la irregularidad del régimen de crecidas y sequías y promover la generación de crecidas relámpago en las cuencas mediterráneas y del interior de la Península Ibérica.

Las zonas vulnerables a las inundaciones se localizan en las proximidades de los núcleos urbanos y centros turísticos (especialmente en el mediterráneo). Estas zonas vulnerables han aumentado considerablemente como consecuencia del aumento de la exposición como consecuencia de la expansión de las zonas urbanas, obras lineales y actividades humanas que se realizan cercanas a los cauces. Los sectores socio-económicos que pueden verse afectados por un aumento en el riesgo de inundaciones son el turismo, la industria, el transporte y distribución, y en menor medida el sector seguros.

Las principales opciones adaptativas se basan en la mejora de los estudios de prevención que mejoren la ordenación territorial, así como en los sistemas de predicción actualmente operativos en algunas cuencas.

Entre las principales necesidades de investigación destaca la reconstrucción de series de crecidas del pasado, análisis de las series de aforo instrumentales y en su caso la restitución a condiciones naturales, y el desarrollo de modelos regionales acoplados clima-hidrología que permitan obtener escenarios fiables para los extremos hidrológicos teniendo en cuenta las particularidades de las cuencas atlánticas y mediterráneas.

12.A.1. INTRODUCCIÓN

Las características climáticas, orográficas y geológicas de la Península Ibérica determinan que los episodios de crecidas y los prolongados periodos de sequía sean fenómenos hidrológicos de carácter normal, con los que la sociedad tiene que convivir. Las inundaciones constituyen el riesgo natural de mayor impacto económico y social que se puede generar en un corto espacio de tiempo (horas o días), aunque si atendemos a pérdidas económicas, los daños meteorológicos a la agricultura o las pérdidas de generación hidráulica por sequía pueden presentar un mayor coste económico (Pujadas 2002). Desde la inundación de Valencia de 1957, se ha producido una media de una avenida grave cada cinco años (CTEI 1983). Los 10 eventos más importantes en cuanto a indemnizaciones pagadas por el Consorcio de Compensación de Seguros se han producido recientemente, seis en la década de los 80 y cuatro en la década de los 90 (ver Capítulo 14).

El impacto del cambio climático debido al efecto invernadero sobre las inundaciones constituye una de las principales incertidumbres de todos los informes realizados hasta el momento por los organismos internacionales. En el último informe realizado por el IPCC (IPCC 2001) se indica que el incremento en las concentraciones de gases de invernadero y aerosoles en la atmósfera producirá un aumento de la variabilidad climática y de los eventos extremos en numerosas partes del mundo. En Europa, la frecuencia y severidad de las crecidas podría incrementarse, especialmente en las grandes cuencas del centro y oeste de Europa debido a la concentración de la precipitación en los meses de invierno y primavera (IPCC 1996). Igualmente, el incremento de las temperaturas al final de la primavera y durante el verano puede conducir al incremento de las precipitaciones torrenciales de carácter convectivo en pequeñas cuencas y, por tanto, al aumento de los riesgos debidos a crecidas relámpago, especialmente en zonas de montaña y en las regiones mediterráneas.

En el informe Acacia (Parry 2000) se señala que el principal riesgo en los países del sur de Europa se deriva de las crecidas relámpago debidas a lluvias torrenciales. En este informe, se indica que para el 2020, los veranos anómalamente calurosos, como el producido en el 2003, ocurrirán con una frecuencia entre cuatro y cinco veces mayor que en la actualidad. A pesar de todas estas conjeturas, la realidad es que ninguno de los modelos de circulación atmosférica global o regional es capaz de generar escenarios fiables sobre los cambios esperables en relación con los eventos extremos, y estas suposiciones parten de la base de que el cambio climático alterará todo el volumen de precipitación mensual en la misma proporción, sin tener en cuenta la concentración de lluvia en periodos temporales cortos (escala horaria o diaria).

12.A.2. SENSIBILIDAD AL CLIMA ACTUAL

12.A.2.1. Sensibilidad al clima actual de las crecidas fluviales

La magnitud y frecuencia de las avenidas varían entre diversas cuencas de drenaje dependiendo de su variabilidad morfométrica, la escala de la red y, principalmente del tipo de patrones atmosféricos que generan las inundaciones (Benito *et al.* 1996, 1997, Fig. 12.A.1). Durante el invierno, los flujos del oeste y noroeste son dominantes, fuertemente relacionados con una elevada frecuencia de la circulación zonal en altitud. Esta situación condiciona en mayor medida las áreas que son afectadas por las masas de aire atlánticas, principalmente las cuencas del Duero, Tago, Galicia y Cantabria. Estas últimas resultan, no obstante, más influenciadas por lluvias intensas originadas por la advección del norte, la cual afecta igualmente a las cabeceras del Ebro y Duero. Las cuencas del Guadiana y Guadalquivir, aunque también son afectadas por estas perturbaciones, registran los episodios más importantes cuando la circulación adquiere una alta componente meridional, normalmente asociada a la presencia de una baja en el Golfo de Cádiz, que aporta flujos muy húmedos del suroeste.

En primavera, así como al final del invierno, con la expansión de la corriente en chorro y el dominio de los patrones de circulación ondulada, existe un cambio en el tipo de flujo principal motivado por el incremento de los flujos del sur y suroeste, los cuales presentan una mayor frecuencia al final de la primavera. Esta clase de circulación resulta responsable de volúmenes de precipitación importantes en el este y sureste de España, principalmente en las cuencas del Mediterráneo del Júcar, Segura, Ebro y Pirineo Oriental y en los ríos del sur. En las cuencas mediterráneas, el avance de masas de aire de procedencia atlántica, relativamente más frías que el mar, puede aumentar la inestabilidad y facilitar la formación de sistemas convectivos. En esta época del año es cuando se registran el mayor número de gotas frías en España (Llasat y Puigcerver 1990), y se sitúan sobre todo en la parte occidental (Llasat 1991), pudiendo asociarse en algunos casos a precipitaciones moderadas. Algunos ríos de España también registran un segundo pico de caudal durante la primavera, debido al deshielo súbito que afecta, fundamentalmente, a su cabecera en zonas de montaña (Fig. 12.A.1).

El verano se caracteriza por la carencia de precipitaciones en una gran parte del país, especialmente al sur de la Cordillera Cantábrica. Sin embargo, en el norte de España (Galicia, Cantabria y País Vasco), pueden producirse excepcionalmente inundaciones, asociadas a flujos del norte, con presencia o no de gota fría. En esta época son importantes las lluvias muy intensas de corta duración, que afectan principalmente a los Pirineos y a la costa catalana, dando lugar frecuentemente a inundaciones súbitas en rieras y torrentes. Por su corta duración y pequeña extensión, el aporte total de estas precipitaciones a las cuencas es pequeño.

Finalmente, durante el otoño existe un incremento de la circulación del oeste y del noroeste, así como del tipo del suroeste. Las situaciones del sureste en bajos niveles y suroeste en altura (asociadas a la presencia de un surco en altura o de una gota fría), con advección de aire muy cálido y húmedo en bajos niveles, son muy favorables al desarrollo de sistemas convectivos organizados que generan crecidas fluviales (Jansà *et al.* 1996). Estos sistemas pueden afectar principalmente a la costa del Mediterráneo, conduciendo a eventos que generan inundaciones en los ríos del Pirineo Oriental, Júcar, Segura y también de la cuenca del Ebro y de los ríos del sur. En el caso de los ríos del Mediterráneo que drenan la Cordillera Ibérica (Júcar, Segura y Turia), los mayores caudales punta se registran durante este periodo. De hecho, los caudales medios de estos ríos pueden verse multiplicados hasta 11.000 veces durante las mayores avenidas (Masach 1950, Llasat *et al.* 2003).

El análisis de las series de caudales máximos anuales registradas en estaciones de aforo apunta a una disminución en los picos de las crecidas ordinarias en los últimos 40 años (Fig. 12.A.2). En parte, esta disminución de los caudales de crecida se debe a la construcción de presas, la mayor parte entre la década de los 50's y 60's, que actualmente supera el millar (1133 incluyendo diques laterales), con una capacidad de embalse superior a 56.000 hm³. Sin embargo, este efecto laminador de los embalses se muestra insuficiente en el caso de las crecidas extraordinarias, como las registradas en cuencas mediterráneas, en 1982 y 1987, o en las cuencas atlánticas en el año 1979. Como se puede observar en la figura 12.A.2, estas crecidas presentaron los mayores caudales punta del registro sistemático de aforos (últimos 50 años). De cualquier manera, resulta evidente que se incorpora un elemento de variabilidad en los caudales máximos debido al efecto de las infraestructuras hidráulicas que dificulta el análisis hidroclimático de las series instrumentales. En algunos casos, se han restituido las series de caudales máximos a régimen natural, para eliminar el ruido introducido por los embalses, aunque los trabajos de este tipo en España resultan escasos. Por tanto, debemos tener cierta precaución a la hora de interpretar la tendencia de los caudales de crecida registrados en los últimos 30 años en ríos regulados en relación con los efectos del cambio climático.

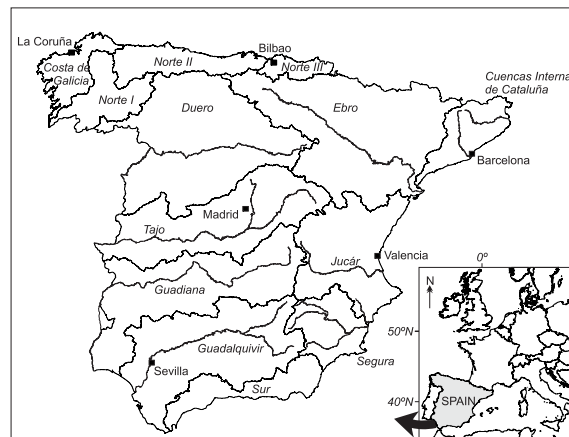
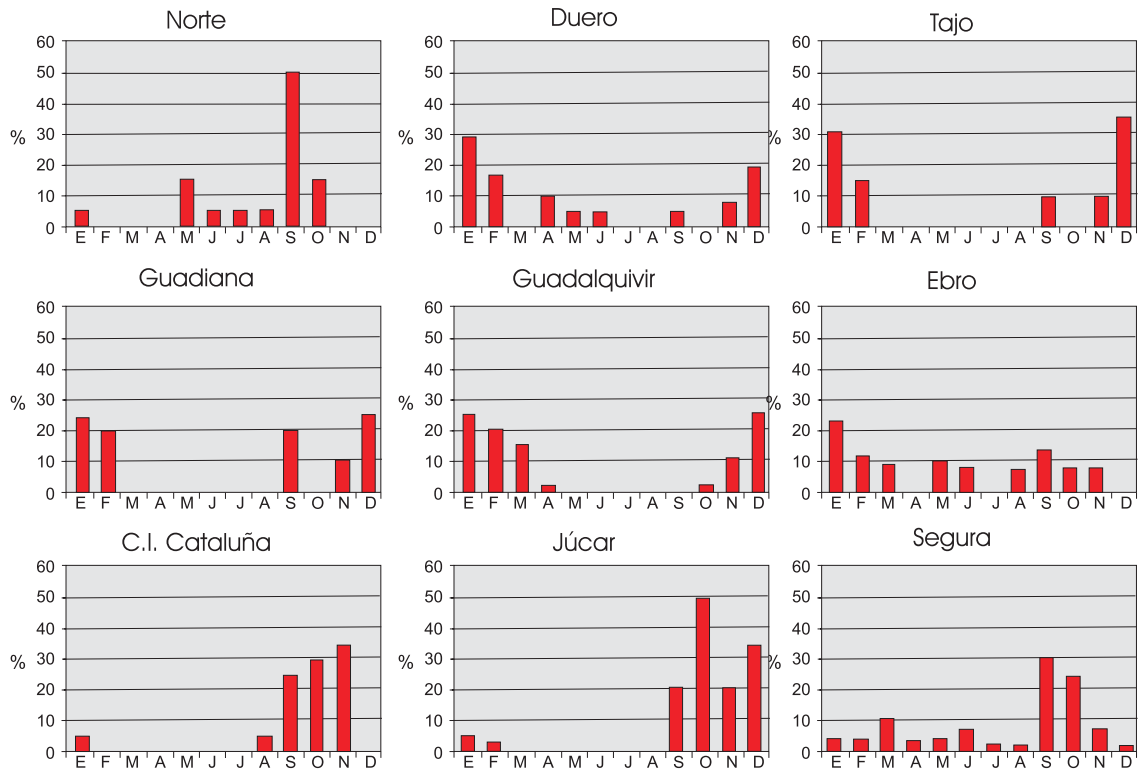


Fig. 12.A.1. Distribución mensual de las crecidas históricas (según Benito et al. 1996) en diferentes cuencas hidrográficas (figura inferior).

En las cuencas atlánticas, la generación de crecidas, duración y magnitud se encuentran estrechamente ligadas a los cambios en la precipitación invernal. En estas cuencas, aunque las relaciones caudal medio, precipitación y caudal máximo no son unívocas, se puede señalar que aquellos años con exceso de precipitación (Fig. 12.A.3) que produce mayores módulos fluviales corresponden a años con importantes caudales punta. Las precipitaciones más copiosas en las cuencas Atlánticas se producen cuando la circulación zonal y la entrada de perturbaciones se sitúan en baja latitud (35-45° N), generando precipitaciones importantes y persistentes en las cuencas del Duero, Tajo, Guadiana y Guadalquivir, o bien cuando se produce una circulación meridional con advección muy húmeda sobre las cuencas del Guadiana y del Guadalquivir. En las cuencas mediterráneas, las relaciones entre la precipitación areal y las crecidas no

responde a ningún patrón concreto, y por tanto las relaciones clima-crecidas resultan difíciles de discernir.

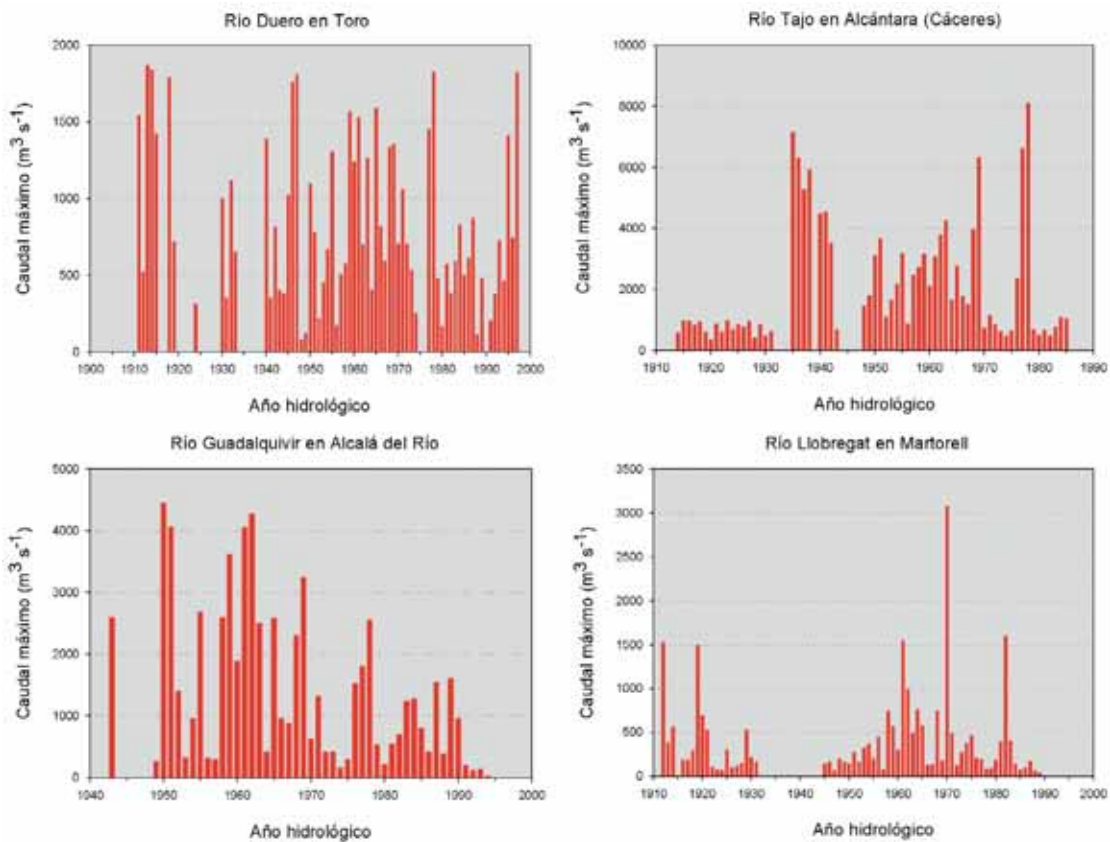


Fig. 12.A.2. Serie anual de caudales de crecida de los ríos Duero (Toro), Tajo (Alcántara), Guadalquivir (Alcalá del río) y Llobregat (Martorell).

12.A.2.2. Efectos de la variabilidad climática en los riesgos hidrológicos a través de series del pasado

Al igual que se conoce que en el pasado ha existido una variabilidad en el clima, con periodos más cálidos (p.e. Periodo Cálido Medieval, probablemente entre AD 900-1200, según Flohn 1993) y periodos fríos (Pequeña Edad del Hielo; probablemente entre AD 1550 y 1850 según Flohn 1993), las crecidas y las sequías se han sucedido de forma variable y en respuesta a estos cambios del clima. Los registros geológicos y documentales nos permiten reconstruir la frecuencia e incluso la magnitud en la que se han sucedido estos eventos extremos. Los registros geológicos se basan en estudios de los sedimentos depositados por los ríos durante las crecidas (Benito *et al.* 2003a) y permiten retroceder en el tiempo a escalas de hasta 10.000 años (Holoceno). Por su parte los registros documentales proceden de archivos de administraciones públicas y eclesiásticas de ámbito estatal, provincial o local, y permiten completar las series de forma continua desde el siglo XVI, de forma discontinua desde el siglo XIV y de forma puntual desde época clásica a partir de autores grecorromanos (Benito *et al.* 2004, Barriendos y Coeur 2004). En todos los casos se observa que las crecidas no se distribuyen de forma homogénea en el tiempo, sino que existen periodos con una concentración anómala de eventos extremos y que responden a situaciones climáticas cambiantes.

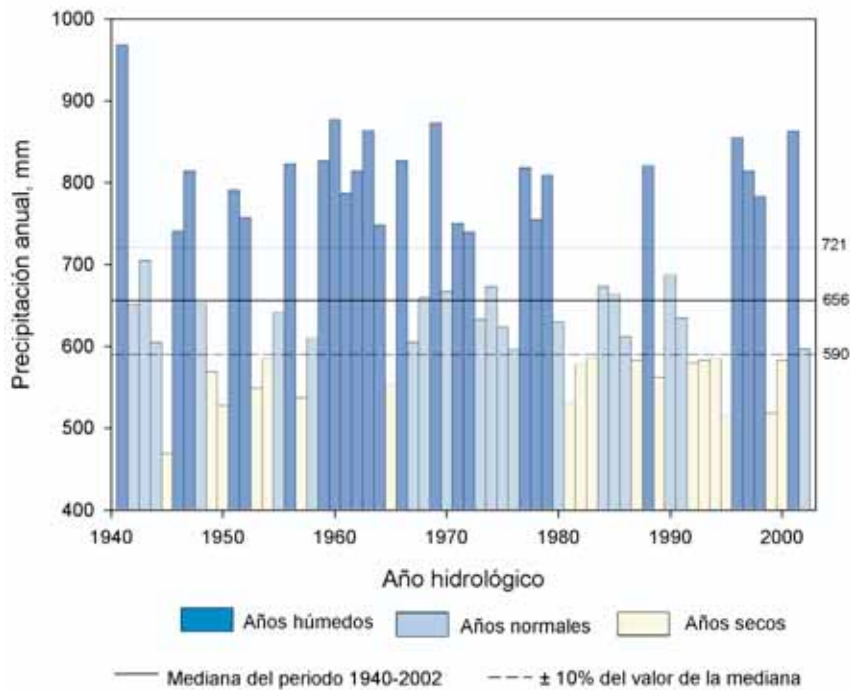


Fig. 12.A.3. Variación temporal de la precipitación anual (mm) en España Peninsular, y clasificación de los años en función de su desviación de la mediana (656 mm) para el periodo 1940-41/2002/2003 (año hidrológico de octubre a septiembre).

En general, se considera que en los últimos 3000 años la circulación general de la atmósfera presenta características similares a las actuales, y es por tanto en este periodo donde el análisis de las relaciones clima-inundaciones presenta un mayor interés. Durante este periodo la respuesta hidrológica resulta afectada tanto por la variabilidad climática como por la actividad humana con la implantación de las sociedades agrícolas que generan importantes procesos de deforestación, especialmente en los últimos 1700-2000 años. Sin embargo, resulta evidente que la generación de crecidas en cuencas medias y grandes, responde a un exceso de precipitación en las cuencas, con un papel moderado o menor de la actividad humana en la capacidad de infiltración de los suelos, al menos durante episodios de precipitación intensa.

Los registros de paleocrecidas muestran una concentración anómala de eventos extremos en diversas cuencas del entorno mediterráneo entre el 2860 y 2690 años B.P. (B.P. significa "antes del presente"), es decir entre 850-550 BC (antes de Cristo) (Thorndycraft *et al.* 2004, Fig. 12.A.4). Este periodo precede, o se sitúa temporalmente próximo, a una pulsación de carácter frío y húmedo ocurrida hace 2650 años (van Geel *et al.* 1999) y que se asocia a causas relacionadas con las variaciones de la emisión de radiación solar. En el río Llobregat, la magnitud de las crecidas generadas en este periodo prácticamente duplica a las registradas en el siglo XX y sólo tienen parangón con algunas registradas en el siglo XVII (Thorndycraft *et al.* 2004, Fig. 12.A.4).

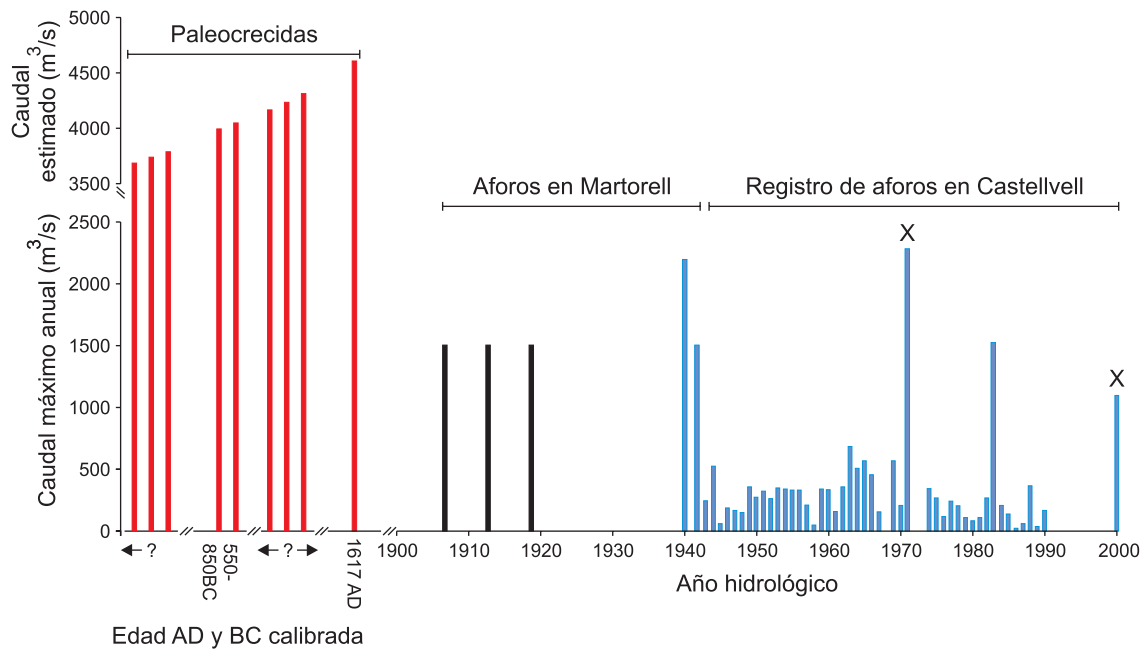


Fig. 12.A.4. Caudales estimados de crecidas máximas producidas en los últimos 3000 años en el tramo medio-inferior de río Llobregat mediante registros geológicos (rojo), junto con los registrados en las estaciones de aforo de Martorell (negro) y Castellvell (azul) (modificado de Thorndycraft et al. 2004).

En los últimos 2000 años, los registros sedimentarios de paleocrecidas presentan una concentración anómala de eventos en los periodos AD (después de Cristo) 1000-1200, AD 1430-1685 y AD 1730-1810. La resolución de la técnica de carbono-14 para los últimos 300 años es escasa por lo que este último periodo puede presentar errores de datación. Estos periodos coinciden con los obtenidos a partir del registro documental, donde se observa un incremento en la frecuencia de crecidas de elevada magnitud en las cuencas atlánticas de la Península Ibérica durante los periodos 1150-1290 1590-1610 1730-1760 1780-1810 1870-1900 1930-1950 y 1960-1980 (Benito *et al.* 1996, 2003b, Fig. 12.A.5). Las condiciones climáticas que prevalecen en estos periodos de elevada frecuencia de crecidas resultan difíciles de estimar. En climatología histórica se ha utilizado la denominación de Periodo Cálido Medieval y Pequeña Edad del Hielo para definir dos episodios climáticos pluriseculares de calentamiento y enfriamiento respectivamente, experimentados a escala global en los últimos 1000 años. Sin embargo, diversos estudios recientes demuestran que se trata de periodos cuyo inicio y duración varían regionalmente.

La Pequeña Edad del Hielo, también conocida como miniglaciación, ha podido ser estudiada a partir de fuentes documentales históricas poniendo en evidencia manifestaciones de fuerte variabilidad climática, cuya expresión más característica son los periodos de incremento en la frecuencia de las lluvias torrenciales con su reflejo en las inundaciones catastróficas, pero también incrementos en la frecuencia de aparición de sequías prolongadas de carácter climático. Estos comportamientos anómalos suelen prolongarse durante 30 o 40 años (Fig. 12.A.6), destacando entre ellos por el incremento y severidad de las inundaciones el de 1580-1620 y 1840-1870 (Barriandos y Martín Vide 1998). En relación a las sequías, resulta más difícil separar periodos debido su compleja distribución espacial, pero han sido ciertamente más frecuentes en las décadas centrales del siglo XVI (1540-1570) y del siglo XVII (1625-1640), con menos severidad en 1750-1760 y finalmente entre 1810-1830 y 1880-1910 (Barriandos 2002). Por último, cabe mencionar la posibilidad de encontrar periodos en los que se producen incrementos en la frecuencia de inundaciones y sequías simultáneamente. Sólo se conoce uno, entre 1760 y 1800, pero sus efectos se extendieron por buena parte de Europa Occidental y

Central, ocasionando evidentes trastornos en la producción agraria y incluso crisis sociales en diferentes países (Barriendos y Llasat 2003).

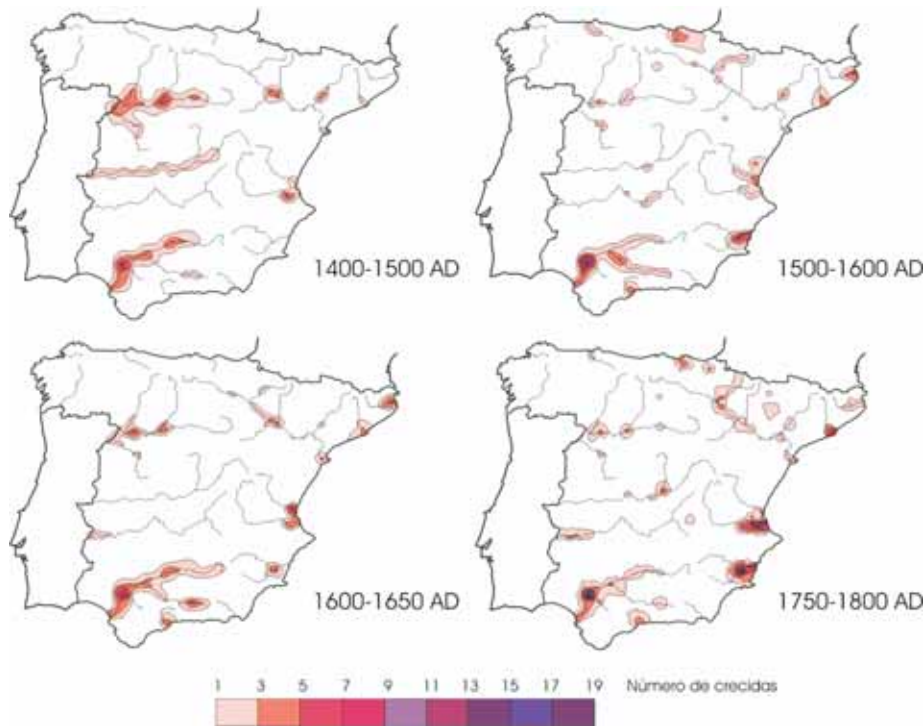


Fig. 12.A.5. Distribución de las crecidas históricas en España en diferentes periodos (según Benito *et al.* 1996).

Un aspecto digno de mención dentro de la miniglaciación es la identificación de episodios meteorológicos extremos cuya baja frecuencia ha impedido que se pudieran registrar durante el periodo instrumental moderno (Fig. 12.A.7). Ello implica la certeza de que en escenarios climáticos futuros pueden volver a repetirse, generando impactos probablemente no previstos. Sería el caso del evento de lluvias continuadas y torrenciales de enero-febrero de 1626 1708 1739 1856 1860 1876 1881 1895 y 1897 en las cuencas atlánticas (Guadalquivir, Guadiana, Tajo, Duero; Benito *et al.* 1996, 2003b) o el evento de noviembre de 1617 en la vertiente mediterránea, en todos los casos con inundaciones de efectos catastróficos en numerosos sistemas fluviales (Barriendos 1995, Fig. 12.A.6). También se detectan episodios excepcionales de otros fenómenos de más difícil apreciación en su duración y su magnitud, como la ola de frío de ámbito continental de diciembre de 1788-enero de 1789 (Barriendos *et al.* 2000) o la sequía de 1812-1824 en el litoral catalán (Barriendos y Dannecker 1999).

12.A.3. PRINCIPALES IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Los impactos del cambio climático sobre los extremos hidrológicos pueden afectar al número de episodios de caudal extraordinario que se producen en un año, a su frecuencia interanual, a la duración y volumen de los hidrogramas y a los caudales punta. Las condiciones atmosféricas generales que generan crecidas son complejas, y resulta difícil establecer una relación directa y unívoca entre clima e inundaciones.

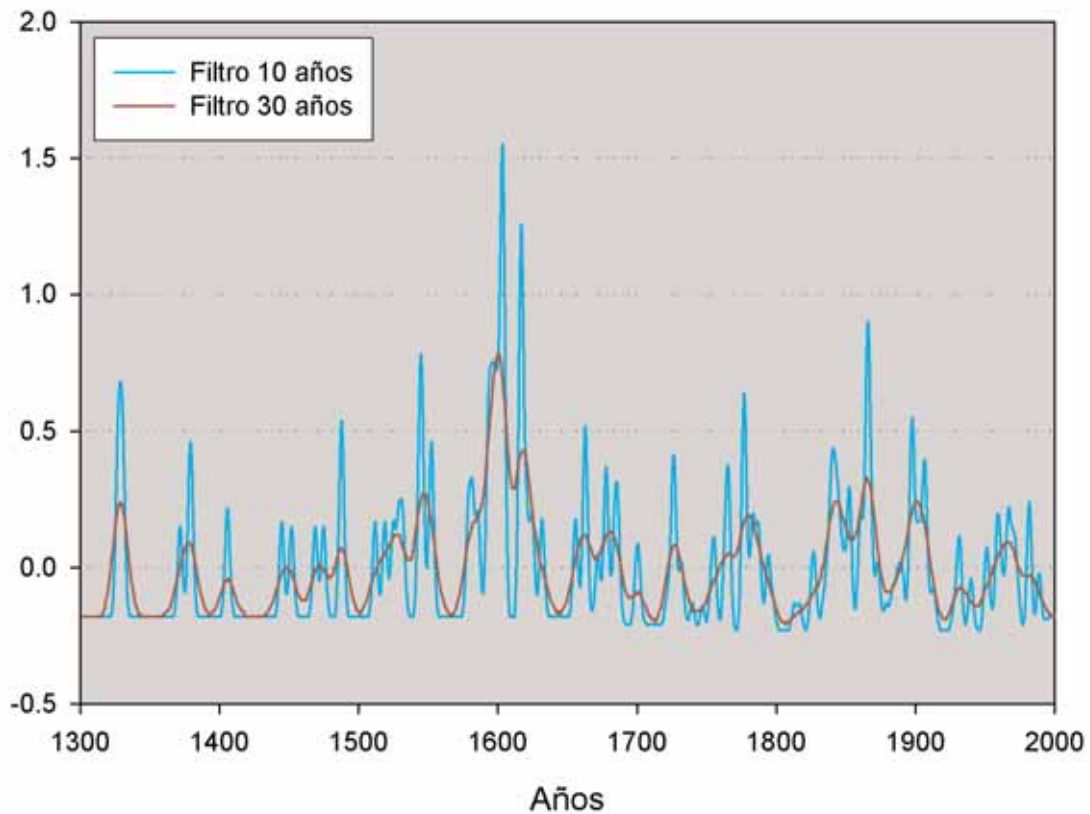


Fig. 12.A.6. Evolución temporal de la frecuencia de las crecidas extraordinarias y catastróficas para el conjunto de los ríos de Cataluña. Los valores representados se han obtenido de aplicar un filtro de suavizado gaussiano de 10 y 30 años a la media normalizada (Datos de M. Barriendos).

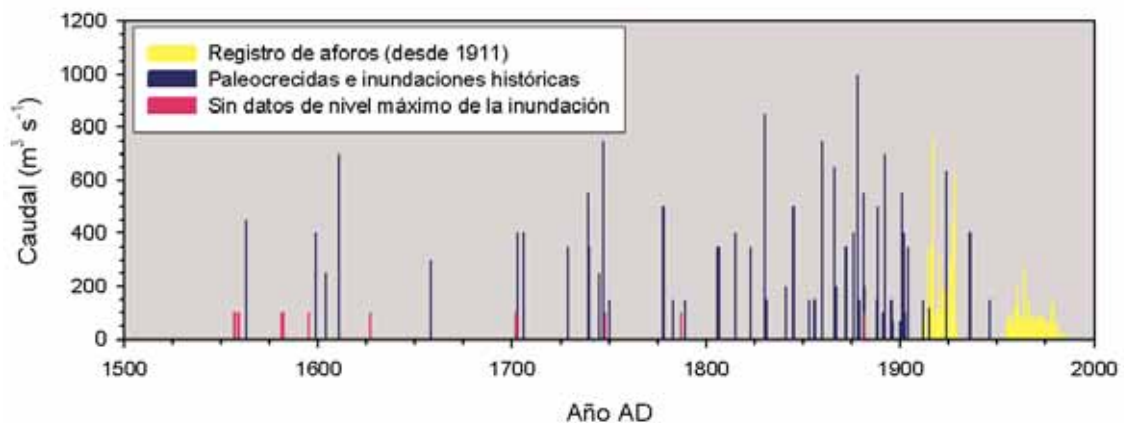


Fig. 12.A.7. Caudales punta estimados para las paleocrecidas y crecidas documentales del río Tago en Aranjuez (según Benito et al. 2003), y datos registrados en la estación de aforos desde 1911.

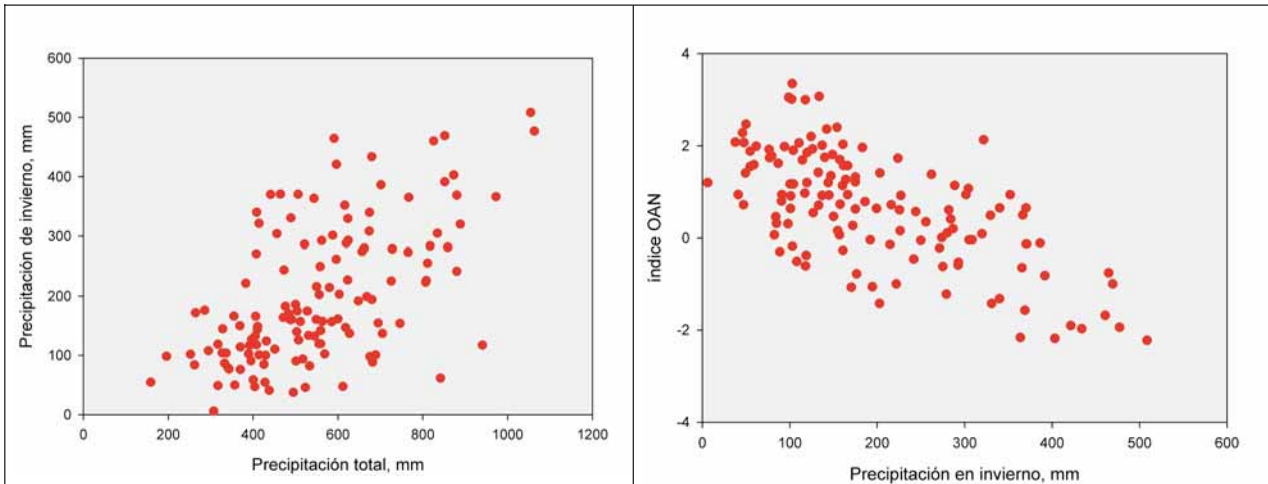


Fig. 12.A.8. Relaciones de la precipitación de invierno (diciembre, enero y febrero) con la precipitación total anual (izquierda), y con el índice de la Oscilación del Atlántico Norte (derecha) en la estación pluviométrica de Sevilla.

Se han establecido diferentes índices que definen la posición de la circulación zonal en Europa, entre los que destaca el índice de la Oscilación del Atlántico Norte (OAN; en inglés NAO: North Atlantic Oscillation index). Este NAO se define como la diferencia normalizada de presión a nivel del mar entre dos centros de presión regional: (1) centro de baja presión en Islandia y (2) centro de alta presión de las Azores (Walker y Bliss 1932, van Loon y Rogers 1978). Se han observado vínculos entre estas diferencias de presión y la distribución de las precipitaciones invernales y los caudales en las cuencas atlánticas de la Península Ibérica (Trigo *et al.* 2003), muy especialmente con el río Guadalquivir (Fig. 12.A.8). Los periodos con NAO en fase negativa se asocian con condiciones húmedas en el oeste del Mediterráneo y norte de África (Wanner *et al.* 1995), y aire frío en la Europa del norte. El estudio de la correlación invernal entre el índice NAO y la precipitación areal en las grandes cuencas hidrográficas para el periodo octubre 1897-septiembre 1998, muestra que las regiones mejor correlacionadas son las cuencas Centro Norte (Duero-Tajo) y Centro Sur (Gudiana-Guadalquivir), tal como indica la Tabla 1. En estudios recientes se ha apuntado que el NAO disminuye durante los máximos seculares de la actividad solar y aumenta durante los periodos de descenso en la actividad solar (Kirov y Georgieva 2002).

Tabla 12.A.1. Coeficientes de correlación de Pearson entre el NAO (de diciembre a marzo) y las series de precipitación areal invernales de diferentes regiones pluviométricas (según Barrera 2004).

Región	NAO(DEFM)
Noroeste	-0,43
Norte	-0,51
Noreste	-0,59
Centro-Norte	-0,62
Centro-Sur	-0,72
Levante	-0,45
Canarias	-0,42

Dada la complejidad en la modelización de extremos hidrológicos por parte de los Modelos de Circulación General de la atmósfera, se puede abordar la respuesta de las crecidas y sequías

en los escenarios de cambio global a través del establecimiento de relaciones entre NAOI, actividad solar y magnitud y frecuencia de crecidas. En la figura 12.A.9 se muestra la variación temporal del NAO reconstruido por Luterbacher *et al.* (2002) y su relación con las crecidas con caudales superiores a $3500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para la serie histórica del Guadalquivir en Sevilla. En general se observa una buena relación entre los periodos con mayor número de crecidas extremas y los periodos con NAO negativo, tal y como cabría esperarse dada la relación de años húmedos y años de crecidas importantes en la cuenca del Guadalquivir. Por otro lado, valores de NAO negativos no siempre están relacionados con la existencia de crecidas extraordinarias. Este tipo de relaciones NAO-crecidas extremas se cumple igualmente en determinados periodos de la serie histórica de la cuenca del río Tajo (Benito *et al.* 2003b, 2004) y del río Guadiana (Ortega y Garzón 2004), e incluso se pueden establecer diversas relaciones de algunos periodos de crecidas con momentos de actividad solar máxima (Vaquero 2004).

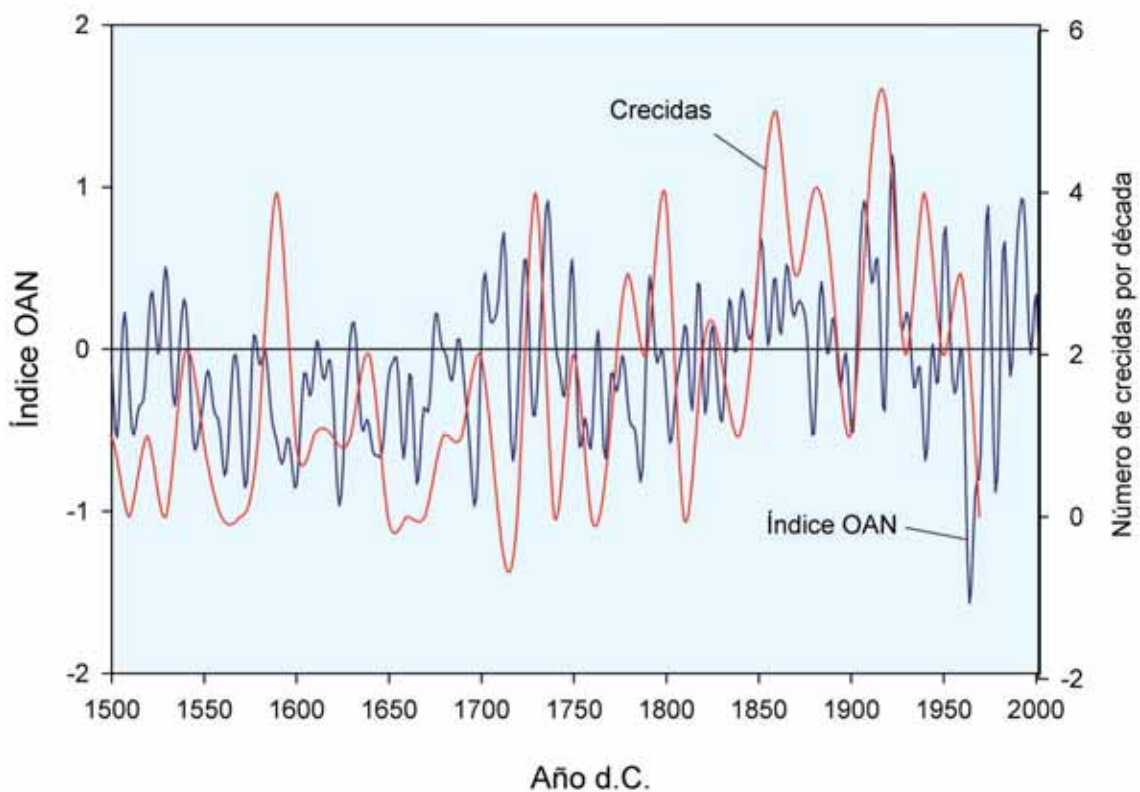


Fig. 12.A.9. Relación del número de crecidas con caudales superiores a $3500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y la variación de la media del NAO de los meses de invierno (dic-en-feb) desde el año 1500, con suavizado para intervalos de 3 años. Los valores del NAO se han tomado de Luterbacher *et al.* (2002).

En la actualidad, se están generando escenarios y predicciones de las variaciones futuras de estos índices mediante modelos de simulación climática, de cuyas proyecciones se pueden establecer los patrones de comportamiento futuro de las crecidas de los ríos Atlánticos. La proyección de este índice en relación con el cambio climático debido al efecto invernadero no está clara y no existe consenso si la tendencia en fase NAO positiva de las décadas de los 1980s y 1990s, comparable a la que existió en el periodo 1900-1930, se mantendrá o se intensificará durante la primera mitad del siglo XXI. En este sentido, se puede apuntar que aproximadamente la mitad de los modelos predicen una intensificación positiva del índice asociada al cambio global, mientras que la otra mitad predicen que NAO se mantendrá en

niveles comparables a los presentados en las últimas décadas. En ambos casos, tanto si NAO aumenta o se mantiene en los niveles de las décadas pasadas, cabría esperar una tendencia clara a la disminución de crecidas extraordinarias en las cuencas atlánticas de la Península Ibérica en relación con los patrones de frecuencia existentes en la segunda mitad del último siglo. Esta proyección estaría de acuerdo con los GCM que predicen una reducción de un 10% en la precipitación. Sin embargo, un aumento en la variabilidad hidrológica puede favorecer la generación de crecidas con caudales punta ocasionalmente excepcionales (Tabla 12.A.2). En el caso de los ríos Duero y Ebro, los caudales punta pueden verse afectados por fenómenos de deshielo rápido como consecuencia de subidas bruscas en la temperatura durante los meses de invierno e inicios de primavera (Tabla 12.A.2). En el otro lado de la balanza, si atendemos a lo ocurrido en los últimos 400 años (Fig. 12.A.9), se observa una elevada variabilidad de este NAO, incluso en periodos de calentamiento del planeta (p.e. décadas posteriores a la miniglaciación), que se traduce en un incremento de la variabilidad hidrológica en un escenario de cambio climático.

En relación con las cuencas mediterráneas, los mecanismos que se establecen entre clima y crecidas son mucho más complejos y, hasta el momento, no se han establecido índices válidos ni se han desarrollado modelos que permitan realizar predicciones dentro de un escenario de cambio climático. En principio, resulta probable que el incremento de la temperatura durante los meses de verano puede favorecer la generación de tormentas (Tabla 12.1.2). Estas tormentas tendrían un carácter netamente local, y podrían desencadenar crecidas relámpago en cuencas de tamaño pequeño. En estos casos, las diferencias de temperatura entre el Mediterráneo y el continente favorecen la creación núcleos convectivos de precipitación especialmente en otoño.

En cuanto a la afección de los ríos mediterráneos de primer orden, las series de paleocrecidas y crecidas históricas indican que las avenidas extremas se han producido durante periodos de elevada irregularidad de la precipitación tanto estacional como anual (sequías seguidas de eventos de inundación; p.e. 2700 años B.P., inicio de la miniglaciación). En periodos recientes, se ha observado un incremento en la generación de fenómenos de lluvias intensas, como fue el caso de la década de los ochenta en el Mediterráneo que se interpretó como una respuesta al cambio climático, aunque dicha tendencia se ha invertido en los años noventa, lo que revela la complejidad de la señal climática en la generación de extremos.

Tabla 12.A.2. Análisis cualitativo de la respuesta de diferentes cuencas españolas a posibles impactos del Cambio Climático.

Posible impacto del Cambio Climático	Guadalquivir Guadiana Tajo	<i>Duero</i>	<i>Norte</i>	<i>Ebro</i>	Cuencas Internas de Cataluña	<i>Levante/Sur</i>
Cambio en la circulación zonal (NAO positiva)	-Extremos (+intensos) +Ordinarias (-Intensas)	-Extremos (+intensos) +Ordinarias (-Intensas)				
Aumento de fenómenos de gota fría			+Irregularidad de extremos		+Irregularidad de extremos	+Irregularidad de extremos crecida/sequías
Generación de núcleos convectivos	+Crecidas relámpago	+Crecidas relámpago	+Crecidas relámpago	+Crecidas relámpago	+Crecidas relámpago	+Crecidas relámpago
Cambios bruscos en la temperatura		+Crecidas por deshielo		+Crecidas por deshielo	+Crecidas por deshielo	

12.A.4. ZONAS MÁS VULNERABLES

Las regiones más vulnerables a los riesgos hidrológicos son aquellas donde, además del posible aumento en los eventos extremos como consecuencia del cambio climático, existe una mayor sensibilidad o exposición de bienes. En este sentido, la vulnerabilidad a los fenómenos de crecida en España no debe leerse exclusivamente en términos de los posibles efectos del cambio climático, sino que existe una componente importante motivada por el desarrollo urbanístico incontrolado de las últimas décadas. A priori, el prototipo de zona altamente sensible a los extremos hidrológicos se presenta en zonas muy pobladas con desarrollos urbanísticos recientes y con sectores socio-económicos sensibles como turismo, industria, etc. Las previsiones de los modelos climáticos apuntan a una intensificación de los periodos secos en verano, y precipitación total en invierno similar a la actual, aunque concentrada en un menor número de meses. En las últimas décadas, se ha puesto de manifiesto que los eventos con mayor impacto socio-económico se han relacionado con crecidas relámpago que han afectado a cuencas de tamaño medio o pequeño. Como indicativo, se pueden considerar como zonas de mayor probabilidad de desencadenarse precipitaciones se localizan en la franja mediterránea, zonas del interior del valle del Ebro y zonas dispersas del interior peninsular asociadas a cuencas de pequeño tamaño. Las zonas vulnerables serán aquéllas donde la población se encuentre expuesta al desastre. Por tanto, las regiones con mayor riesgo resultarán de cruzar las áreas susceptibles de producir una precipitación anómala con las zonas de mayor exposición de bienes (y más vulnerables) (Fig. 12.A.10). En algunos casos, en zonas de moderada o baja amenaza a generar eventos extremos pueden presentar una elevada vulnerabilidad debido a su alta exposición y a existencia de una menor conciencia social del problema. Igualmente, las zonas torrenciales donde los eventos extremos son frecuentes pueden presentar una menor vulnerabilidad en el caso de que hayan tomado las medidas oportunas para reducir el riesgo. En líneas generales se puede apuntar que, aunque el número de fenómenos hidrológicos extremos hayan disminuido en número y magnitud en las últimas décadas respecto a los producidos a principios y mediados del siglo pasado, los daños globales computados han sido sustancialmente mayores (ver Capítulo 14) debidos al aumento de la vulnerabilidad y exposición de las actividades humanas próximas a los cauces como consecuencia de la expansión de zonas urbanas.

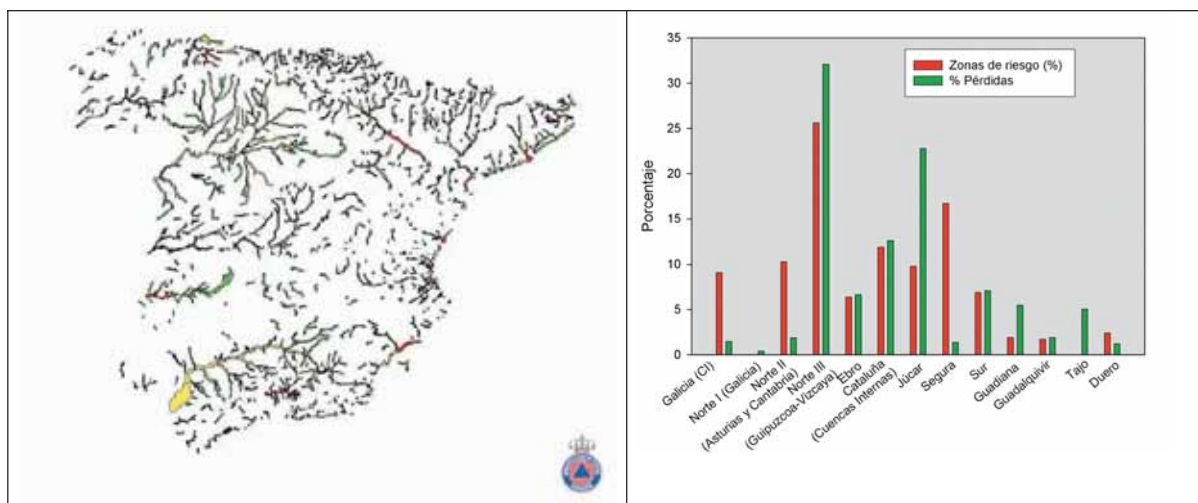


Fig. 12.A.10. A: Mapa de puntos conflictivos por inundaciones en España (fuente Protección Civil). Leyenda: Rojo: Máximo riesgo; Verde: Riesgo moderado; Amarillo: Riesgo bajo. B: Porcentaje de zonas de riesgo y pérdidas económicas en diferentes cuencas (Pujadas 2002). Se observa en algunas cuencas los elevados porcentajes de pérdidas en relación con la proporción de las zonas de riesgo, lo que refleja su elevada vulnerabilidad a las crecidas.

12.A.5. PRINCIPALES OPCIONES ADAPTATIVAS

La variabilidad climática, hidrológica, fisiográfica y socio-económica de España conlleva a que las opciones adaptativas no pueden ser generalizables al conjunto de las regiones. En cualquier caso, la mejor opción adaptativa se deriva del avance en los sistemas y metodologías de prevención, predicción (sistemas de alerta en el caso de cuencas medianas y grandes), así como de la ordenación y gestión de las situaciones de riesgos. Estas buenas prácticas se pueden conseguir en tres niveles:

A *nivel técnico* se requiere la mejora de los sistemas de protección de bienes expuestos mediante medidas estructurales y no estructurales. En general, las medidas estructurales se aplican para proteger de los efectos de las crecidas a zonas con actividades humanas de cierta entidad como desarrollos urbanísticos. Como medida previa se deberían de favorecer las medidas no estructurales y de prevención apoyada en una normativa que regulara la construcción en las zonas susceptibles de inundación, sin que, a la vez, se desarrollen las medidas de protección suficiente. Conviene reseñar que las actuaciones estructurales en los cauces (embalses, diques y canalizaciones) nunca pueden garantizar una protección absoluta.

A *nivel político y gestor* se debería incrementar el control legislativo en la mejora de la planificación de riesgos dentro de los planes urbanísticos e industriales. En este sentido, la legislación actual y normativas sectoriales sobre el medio hídrico así como la Ley del Suelo y Valoraciones resultan extraordinariamente ambiguas e inefectivas. Esta legislación debería contemplar la obligatoriedad de aplicación de las directrices de los Mapas de Riesgos en los diferentes ámbitos de planificación urbanística y en los Planes de Ordenación Territorial. En este sentido, se debe de preservar las características de la red de drenaje natural, especialmente su capacidad de desagüe, evitando actuaciones que puedan suponer un obstáculo al flujo y potenciando la recuperación ambiental de los espacios fluviales.

A *nivel educativo* se requiere implantar en la población una educación sobre el riesgo y los desastres naturales basada en la prevención y la reducción de la exposición. Por otro lado, se debería de incidir a nivel escolar en materia de riesgos y prevención incluyendo información de cómo actuar en caso de catástrofe. En este sentido, debemos aprender de las inundaciones pasadas, zonas previamente inundadas y sus consecuencias socio-económicas, ya que constituyen una fuente importante de información y conocimiento a tener en cuenta en el diseño de cualquier política o estrategia para hacer frente a las avenidas.

12.A.6. REPERCUSIONES SOBRE OTROS SECTORES O ÁREAS

Sector Seguro. En España, los fundamentos del sistema de cobertura de catástrofes, y en particular de los daños por inundaciones, han estado basados en la aplicación de una prima indiferenciada para todos los riesgos cubiertos y para todo el territorio nacional, que gestiona el Consorcio de Compensación de Seguros (CCS). En este sentido, un incremento en los daños por inundaciones no afectaría en gran medida al sector del seguro privado dado que todos los asegurados pagan una cantidad fija independientemente del grado de exposición al que se encuentren (Tabla 12.A.3). En el caso de los daños por sequías, las compañías privadas de seguros y reaseguros podrían verse afectadas económicamente debido fundamentalmente a los seguros agrícolas.

Sector Energético. Este sector sería principalmente afectado en situaciones de sequía prolongada, especialmente en el ámbito de la generación de electricidad (Tabla 12.A.3). Las crecidas, en caso de producirse, pueden afectar negativamente en el ámbito del transporte y distribución de la energía, mientras que pueden tener un impacto positivo en la generación de

energía hidroeléctrica, por cuanto las inundaciones pueden incrementar el recurso hídrico de forma estacional.

Sector Turístico. Las inundaciones y su repercusión mediática nacional e internacional afectan de forma negativa al sector turístico (Tabla 12.A.3). Por ejemplo, la ocupación turística en el valle de Tena con posterioridad a la crecida del barranco de Arás, donde fallecieron 87 personas, disminuyó en los años sucesivos a la catástrofe. Las condiciones de sequía tienen un efecto menor sobre el turismo, que en ocasiones puede estar favorecido por situaciones de calor prolongadas.

Sector de la Industria y Transporte. El sector del transporte y distribución resulta muy sensible al incremento de las crecidas, por cuanto éstas pueden suponer el corte temporal de vías de comunicación o de abastecimiento de mercancías (Tabla 12.A.3). Los periodos de sequía favorecen al sector transporte y distribución, pero pueden afectar negativamente a aquellas empresas que requieran cantidades importantes de agua en los procesos de producción.

Tabla 12.A.3. Grado de repercusión positivo (+) y negativo (-) en diferentes sectores socioeconómicos. 0: Sin impacto; 1: bajo; 2: medio; 3: alto

Sector afectado	Crecidas		Sequías	
	Incremento	Disminución	Incremento	Disminución
Seguro	-1	+1	-3	+2
Energía (hidroeléctrico y biomasa)	+2	0	-3	+2
Turismo	-2	+3	-1	0
Industria	-3	0	-1	0
Transporte y distribución	-3	+2	+3	+2

12.A.7. PRINCIPALES INCERTIDUMBRES Y DESCONOCIMIENTOS

En España, se están realizando avances en la caracterización de escenarios de extremos de precipitación y/o temperatura que pueden resultar válidos para aquellas cuencas cuyas crecidas se encuentran relacionadas con la frecuencia de la circulación zonal en los meses de invierno, como es el caso de las cuencas atlánticas. Sin embargo, en el caso de las cuencas mediterráneas el grado de incertidumbre es elevado debido a que resulta difícil modelar las complejas interacciones que se establecen en el entorno mediterráneo en relación con los eventos extremos.

Estos modelos requieren de series largas de fenómenos extremos para comprender la respuesta de las crecidas a nivel regional en relación con diferentes tipos de circulación atmosférica. En este sentido, los datos de paleocrecidas y documentales pueden aportar una casuística de los eventos hidrológicos extremos en España en relación con la variabilidad climática en los últimos milenios. Igualmente, el estudio de estas series de precipitación, en el periodo pre-industrial (anterior al siglo XX) permite separar la componente natural de la variabilidad climática de aquella otra componente inducida por el efecto invernadero desde el inicio de las emisiones masivas de CO₂ a la atmósfera.

12.A.8. DETECCIÓN DEL CAMBIO

Diversos autores han señalado la elevada sensibilidad de las inundaciones a ligeras variaciones en el clima. La detección del cambio se pone de manifiesto en las modificaciones en el patrón de magnitud y frecuencia de eventos extremos. Si analizamos las series temporales que disponemos sobre crecidas en los últimos 2500 años se observan diferentes cambios en el patrón de la frecuencia y magnitud, la mayor parte de ellos se producen en

momentos de transición climática, destacando entre ellos por el incremento y severidad de las inundaciones de 1580-1620 y 1840-1870 en el mediterráneo (Barriendos y Martín Vide 1998) y entre 1590-1610 1730-1760 1780-1810 1870-1900, en las cuencas atlánticas. En el siglo XX se observan dos periodos con incremento en la magnitud y frecuencia en las crecidas en las cuencas atlánticas entre 1930-1950 y 1960-1980, con una disminución en los caudales punta de las crecidas extraordinarias en los últimos 25 años. En la vertiente mediterránea se observa una fuerte irregularidad en los patrones, con aumento de los fenómenos de gota fría en la década de los 80 que generan máximos históricos de caudales en 1982 y 1987, y una reducción de los mismos en la década de los 90. Entre el año 1990 y 2000, se han incrementado las precipitaciones convectivas que generan crecidas relámpago en cuencas pequeñas, como las ocurridas en Yebra y Almoguera (Guadalajara), Biescas (Huesca), Alicante, y Badajoz, entre otros, y que han tenido dramáticas consecuencias sociales (207 víctimas). Este cambio en el patrón de la magnitud y frecuencia de diverso signo en las cuencas atlánticas y mediterráneas se puede interpretar como una señal del cambio en el clima actual.

12.A.9. IMPLICACIONES PARA LAS POLÍTICAS

Con independencia de la severidad del cambio climático, parece claro que los extremos hidrológicos (inundaciones y sequías) constituyen la seña distintiva del clima y la hidrología en España. Por tanto, la legislación existente debería resultar válida para abordar los problemas de la ordenación del territorio, incluso teniendo en cuenta la influencia del cambio climático en los riesgos hidrológicos. En este sentido, existen aspectos legislativos en materia de riesgos naturales que necesitan de modificaciones. Las implicaciones políticas del cambio climático en materia de riesgos naturales deben dirigirse hacia mejora en la gestión, mejora legislativa en materia de riesgos (Directriz Básica de Planificación de Protección Civil), mejora legislativa en leyes relacionadas con la gestión del territorio (Ley de Aguas y Ley del suelo), mejora y aplicación de los Planes Hidrológicos de Cuenca, y desarrollo del Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses. Los estudios técnicos desarrollados para la aplicación de la legislación deberían, en su caso, analizar las incidencias del cambio climático en las crecidas y establecer estrategias de respuesta donde se contemplen nuevos escenarios en relación a los eventos extremos en materia de gestión de los recursos y del territorio.

En relación con las crecidas, se deberían revisar las normas para la determinación de zonas de inundación potenciales y análisis de riesgos dentro del proceso de planificación del territorio, teniendo en cuenta las crecidas ocurridas en el pasado reciente. En la actualidad, tanto la Ley del Suelo (Real Decreto Legislativo 6/1998 de 13 de abril, donde se indica que las zonas con riesgo natural deben de declararse como suelo no urbanizable) como la Ley de Aguas (Real Decreto Legislativo 1/2001 de 20 de julio, o texto refundido de la Ley de aguas donde se establecen los perímetros de protección de Dominio Público Hidráulico) y el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (Real Decreto 849/1986, de 11 de abril) resultan ambiguas en materia de crecidas extraordinarias.

En el aspecto legislativo conviene señalar que en la actualidad la ordenación territorial y protección civil son competencia de las Comunidades Autónomas y, por tanto, son éstas las que deberían de tomar la iniciativa. En general, las Comunidades Autónomas no han desarrollado prácticamente legislación en materia de riesgos de crecidas, con las excepciones de País Vasco, Cataluña y la Comunidad Valenciana, Galicia y Navarra. Estas comunidades han desarrollado sus propios planes de emergencia por inundaciones, que deben posteriormente homologarse por la Dirección General de Protección Civil, así como legislación sobre ordenación territorial en zonas inundables, y han elaborado una cartografía de riesgo para todo su territorio.

En el ámbito europeo, la Directiva Marco Europea en Política de Aguas (DIRECTIVA 2000/60/CE de 23 de octubre de 2000) tiene como objeto establecer un marco para la protección de las aguas superficiales continentales, las aguas de transición, las aguas costeras y las aguas subterráneas. En fechas recientes se han publicado diversos documentos sobre buenas prácticas en relación con los riesgos de crecidas ("*Best practices on flood prevention, protection and mitigation*"). En este documento se menciona explícitamente el incremento del riesgo de inundación como consecuencia del cambio climático, y constituye un primer paso para el desarrollo de medidas legislativas que afecten a los distintos estados miembros y que tengan en cuenta este aspecto. Igualmente, dentro del ámbito europeo se han establecido instrumentos financieros, como el denominado Fondo de Solidaridad de la Unión Europea (FSUE), para paliar los daños económicos derivados de catástrofes naturales, y que surgieron a raíz de las devastadoras inundaciones que tuvieron lugar en agosto de 2002 en los países de Europa central. En estos fondos subyace la idea de poder hacer frente a la repetición previsible de catástrofes relacionadas con los efectos medioambientales negativos de las actividades humanas, y especialmente a la aceleración del cambio climático.

12.A.10. PRINCIPALES NECESIDADES DE INVESTIGACIÓN

En este informe se pone de manifiesto el escaso conocimiento que se dispone en la actualidad sobre las repercusiones del cambio climático en la frecuencia y magnitud de las inundaciones. En este sentido, las líneas principales de investigación que se deberían desarrollar en un futuro son las siguientes:

- Reconstrucción de series de crecidas del pasado a partir de indicadores geológicos (paleocrecidas) y documentales.
- Análisis de la respuesta de las crecidas a la variabilidad climática durante el pasado en diferentes regiones de España.
- Mejora de la reconstrucción de las situaciones atmosféricas asociadas a eventos extremos para escalas temporales largas.
- Desarrollo de modelos de circulación atmosférica regionales y locales para la obtención de escenarios fiables para los extremos hidrológicos teniendo en cuenta las particularidades de las cuencas atlánticas y mediterráneas.
- Desarrollo de modelos acoplados clima-hidrología para la simulación de eventos extremos a nivel de cuenca.
- Incorporación de previsiones de cambio climático al análisis de frecuencia de crecidas encaminadas a la planificación territorial y el diseño de obras de alto riesgo. Introducción de la no estacionaridad en la planificación de riesgos teniendo en cuenta diferentes escenarios de cambio climático.

12.A.11. BIBLIOGRAFÍA

- Barrera A. 2004. Técnicas de completado de series mensuales y aplicación al estudio de la influencia de la NAO en la distribución de la precipitación en España. Trabajo realizado para la obtención del Diploma de Estudios Avanzados. Universidad de Barcelona. DAM/250999-15/0406.
- Barriendos M. 1995. La climatología histórica en el estudio de los riesgos climáticos. El episodio de noviembre de 1617 en Catalunya. En: Creus J. (Ed.), Situaciones de riesgo climático en España, Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC), Jaca. Pgs. 73-83.
- Barriendos M. 2002. Los riesgos climáticos a través de la historia: avances en el estudio de episodios atmosféricos extraordinarios. En: F.J. Ayala-Carcedo y J. Olcina (Eds.). Riesgos naturales, Ariel, Barcelona. Pgs. 549-562.

- Barriendos M. y Coeur D. 2004. Systematic, palaeoflood and historical data for the estimation of flood risk assessment.
- Barriendos M. y Llasat M.C. 2003. The Case of the 'Maldá' Anomaly in the Western Mediterranean Basin (AD 1760–1800): An Example of a Strong Climatic Variability. *Climatic Change* 61: 191-216.
- Barriendos M. y Martín Vide J. 1998. Secular Climatic Oscillations as Indicated by Catastrophic Floods in the Spanish Mediterranean Coastal Area (14th-19th Centuries). *Climatic Change* 38: 473-491.
- Barriendos M., Peña J.C., Martín Vide J. y Jonsson P. 2000. The Winter of 1788-1789 in the Iberian Peninsula from meteorological reading observations and proxy-data records, *Actas del Congreso Giuseppe Toaldo e il Suo Tempo 1719-1797. Scienza e Lumi tra Veneto ed Europa, Padova*. Pgs. 921-942.
- Benito G., Machado M^a.J. y Pérez-González A. 1996. Climate change and flood sensitivity in Spain. En: Branson J., Brown A.G. y Gregory K.J. (Eds.). *Global Continental Changes: the context of Palaeohydrology*. Geological Society of London Special Publication No. 115. Pgs. 85-98.
- Benito G., Machado M.J. y Pérez-González A. 1997. Respuesta de las inundaciones al Cambio Climático durante el último milenio. En: Ibáñez J.J., Valero Garcés B.L. y Machado C. (Eds.). *El paisaje mediterráneo a través del espacio y del tiempo. Implicaciones en la desertificación*. Geoforma Ediciones, Logroño. Pgs. 203-219.
- Benito G., Sopeña A., Sánchez-Moya Y., Machado M.J. y Pérez-González A. 2003a. Palaeoflood record of the Tagus River (Central Spain) during the Late Pleistocene and Holocene. *Quaternary Science Reviews* 22. 1737-1756.
- Benito G., Díez-Herrero A. y Fernández de Villalta M., 2003b. Magnitude and frequency of flooding in the Tagus Basin (Central Spain) over the last millennium. *Climatic Change* 58: 171-192.
- Benito G., Díez-Herrero A., y Fernández de Villalta M., 2004. Flood response to NAO and Solar Activity in the Tagus Basin (Central Spain) over the last millennium. *Climatic Change* 66: 27-28.
- CCS-CONSORCIO DE COMPENSACIÓN DE SEGUROS 2003. Estadística de riesgos extraordinarios. Serie 1971-2002. Madrid, Ministerio de Economía. 148 pgs.
- CTEI-COMISIÓN TÉCNICA DE EMERGENCIA PARA INUNDACIONES 1983. Estudio de inundaciones históricas. Mapas de riesgos potenciales. Dirección General de Protección Civil- Dirección General de Obras Hidráulicas, Madrid.
- Flohn H. 1993 Climatic Evolution During the Last Millennium: What Can We Learn from It?. En: Eddy J.A y Oeschger H. (eds.). *Global Changes in the Perspective of the Past*, Chapter 19. John Wiley and Sons Ltd. Pgs. 295-314.
- IPCC. 1996. *Climate Change 1995. Impacts, Adaptations, and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Watson R.T., Zinyowera M.C. y Moss R.H. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 880 pgs.
- IPCC. 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability - Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of IPCC*. McCarthy J.J., Canziani O.F., Leary N.A., Dokken D.J. y White K.S. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1005 pgs.
- Jansà A., Genovés A., Riosalido R. y Carretero O. 1996. Mesoscale cyclones vs heavy rain and MCS in the Western Mediterranean. *MAP Newsletter* 5: 24-25.
- Kirov B. y Georgieva K. 2002. Long term variations and interrelations of ENSO, NAO and solar activity. *Physics and Chemistry of the Earth* 27: 441-448.
- Llasat M. 1991. Gota fría. Boixareu Universitaria. Barcelona. 165 pgs.
- Llasat M.C. y Puigcerver M. 1990. Cold air pools over Europe. *Meteorology and Atmospheric Physics* 42: 171-177.

- Llasat M.C., Rigo T. y Barriendos M. 2003 The 'Montserrat-2000' flash-flood event: a comparison with the floods in the Northeastern Iberian Peninsula since the 14th century. *International Journal of Climatology* 23: 453-469.
- Luterbacher J., Xoplaki E., Dietrich D., Jones P.D., Davies T.D., Portis D., Gonzalez-Rouco J.F., von Storch H., Gyalistras D., Casty C. y Wanner H., 2002. Extending North Atlantic Oscillation Reconstructions Back to 1500. *Atmospheric Science Letters* 2: 114-124.
- Masachs V. 1950. Aportación al conocimiento del régimen fluvial mediterráneo. *Comptes Rendus du Congrès International de Géographie*. UGI. Lisbonne 1949. Vol. II. Pgs. 358-390.
- Olcina J y Ayala-Carcedo F. 2002. Riesgos naturales. Conceptos fundamentales y clasificación. En: Ayala-Carcedo F.J. y Olcina J. (coord.). *Riesgos Naturales*, Ariel Ciencia, Barcelona. Pgs. 41-73.
- Olcina J., Ayala-Carcedo F.J., Miró Pérez J. y Pérez A.P. 2002. Anexo II. Relación de catástrofes naturales importantes acontecidas en España en la segunda mitad del Siglo XX. En: Ayala-Carcedo F.J. y Olcina J. (coord.). *Riesgos Naturales*, Ariel Ciencia, Barcelona. Pgs. 1475-1480.
- Ortega J.A. y Garzón G. 2004. Influencia de la Oscilación del Atlántico Norte en las inundaciones del río Guadiana. En: Benito G. y Díez Herrero A. (eds.). *Riesgos naturales y antrópicos en Geomorfología*. SEG y CSIC. Madrid. Pgs. 117-126.
- Parry M.L. (Ed.) 2000. Assessment of potential effects and adaptations for climate change in Europe: The Europe ACACIA project. Jackson Environment Institute, University of East Anglia, Norwich, UK. 320 pgs.
- Pujadas J. 2002. Las inundaciones en España: Impacto económico y gestión del riesgo. En: Ayala-Carcedo F.J. y Olcina J. (coord.). *Riesgos Naturales*, Ariel Ciencia, Barcelona. Pgs. 879-888.
- Thorndycraft V.R, Benito G., Rico M., Sánchez-Moya Y., Sopeña A. y Casas A. 2004. A Late Holocene palaeoflood record from slackwater flood deposits of the Llobregat River, NE Spain. *Journal Geological Society of India* 64: 549-559.
- Trigo R.M., Pozo-Vázquez D., Castro-Díez Y., Osborn T., Gamis-Fortis S. y Esteban-Parra M.J. 2003. NAO Influence on Precipitation, River Flow Regimes and Hydroelectric Power Generation in the Iberian Peninsula. *Geophysical Research Abstracts* 5: 05494.
- van Loon H. y Rogers J.C. 1978. The Seesaw in Winter Temperatures Between Greenland and Northern Europe. Part I: General Description. *Mon. Wea. Rev.* 106: 296-310.
- Van Geel B., Van der Plicht J., Kilian M.R., Klaver E.R., Kouwenberg J.H.M., Ressen H., Reynaud-Farrera I. y Waterbolk H.T. 1998. The sharp rise of $\delta^{14}\text{C}$ at ca. 800 cal. BC. Possible causes, related climatic teleconnections and the impact on human environments. *Radiocarbon* 40: 335-350.
- Vaquero J.M. 2004. Solar Signal in the number of floods recorded for the Tagus River Basin over the Last Millenium. Comment on "Magnitude and frequency in the Tagus Basin (Central Spain) over the last millennium" by G. Benito *et al.* 2003. *Climatic Change* 66: 23-26.
- Walker G.T. y Bliss E.W. 1932. *World Weather V. Memories of the Royal Meteorological Society* 44: 53-84.
- Wanner H., Brazdil R., Frich P., Frydendahl K., Jonsson T., Kington J.A., Pfister C., Rosenorn y Wishman E. 1994. Synoptic interpretation of monthly weather maps for the late Maunder Minimum 1675-1704. En: Frenzel B., Pfister C. y Glaser B. (Eds.). *Climatic Trends and Anomalies in Europe*.