

# AVENIDAS E INUNDACIONES HISTÓRICAS EN EL CANTÁBRICO: FACTORES CLIMÁTICOS Y CAMBIOS EN EL TIEMPO

Juan Carlos GARCÍA CODRON, Carolina GARMENDIA PEDRAJA,

Domingo RASILLA ÁLVAREZ

*Grupo GIMENA, Dpto. Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio, Universidad de Cantabria*

**juan.garciacodron@unican.es, carolina.garmendia@unican.es, domingo.rasilla@unican.es**

## RESUMEN

La presente comunicación analiza la evolución de las inundaciones de los ríos cantábricos desde comienzos de la Edad Moderna hasta la actualidad y examina las condiciones atmosféricas (estacionalidad, tipología, origen y mecanismos) que acompañan a las avenidas.

Los resultados muestran que, a partir de datos instrumentales, la mayoría de las avenidas tienen lugar en invierno bajo circulaciones subzonales rápidas, como corresponde a ríos de régimen pluvial oceánico, mientras que, históricamente, las inundaciones más dañinas han ocurrido a lo largo del semestre cálido, con dos máximos en mayo-junio y septiembre-octubre. Estas son causadas por episodios de intensas precipitaciones convectivas, favorecidos por circulaciones meridianas. Asimismo se avanzan algunas hipótesis para explicar los aparentes cambios que registra la distribución estacional de las grandes inundaciones a lo largo de la historia reciente.

**Palabras clave:** riesgo climático, inundaciones históricas, situaciones sinópticas, región cantábrica.

## ABSTRACT

This communication assesses the evolution of floods in the Cantabrian rivers from the early modern period to the present, taking in consideration the atmospheric conditions that cause them (seasonality, type, origin and mechanisms).

The results show that the majority of the maximum streamflows during the instrumental period occurred in winter, under a zonal atmospheric circulation, as corresponds to rivers with a pluvial oceanic regime. However, the historical sources show that the greatest floods occurred during the warm semester, with two peaks in May-June and September-October. The latter are caused by heavy convective precipitation events, favored by meridian circulations. Also, some hypotheses to explain the apparent changes of the seasonal distribution of heavy flooding throughout recent history are proposed.

**Key words:** climate risk, historical flooding, synoptic situations, Cantabrian region.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son los desastres “naturales” más ubicuos, recurrentes y gravosos que existen y los que merecen más atención en la ordenación del territorio gracias a la posibilidad de delimitar las áreas de riesgo. Suelen estar generadas por crecidas asociadas a episodios de precipitaciones excepcionales cuya frecuencia, de acuerdo con los resultados de numerosos modelos climáticos, podría tender a aumentar (IPCC, 2007).

La comprensión del fenómeno y la proyección de escenarios futuros de riesgo deben sustentarse en un análisis previo de las relaciones entre circulación atmosférica, precipitación y respuesta hidrológica a diferentes escalas espaciales y temporales. Asimismo es imprescindible la determinación del papel de los procesos atmosféricos en la génesis de episodios de precipitaciones torrenciales. A este respecto existen numerosos precedentes sustentados en metodologías muy diversas, desde el análisis sinóptico de casos de estudio (Ramis et al, 1994; Llasat et al, 2002; Llasat et al, 2005; Barrera et al, 2005) hasta el de los sistemas a mesoescala vinculados a inundaciones específicas (Altava-Ortiz et al, 2006).

A escalas temporales diarias la relación entre la dinámica atmosférica a gran escala y la respuesta hidrológica local varía en función del periodo de concentración (que, a su vez, depende tanto de la extensión y configuración de la cuenca como de diversos factores ambientales). Además, algunos eventos extraordinarios se prolongan durante más de un día pudiendo ser el resultado del encadenamiento de varios patrones de circulación específicos. Diferentes aproximaciones metodológicas desde el plano de Climatología Sinóptica permiten, sin embargo, resaltar las conexiones entre la circulación atmosférica regional y la respuesta local a escala diaria (Duckstein et al, 1993; Yarnal y Frakes, 1997; Kahana et al, 2002).

A diferencia de lo ocurrido en otros ámbitos de la Península Ibérica, estas relaciones han sido poco estudiadas en las regiones cantábricas a pesar de que su larga y relativamente bien documentada serie de inundaciones nos retrotrae hasta la Edad Media y de que algunas de ellas figuran entre las más destructivas de la historia peninsular (Bárcena y Garmendia, 2000).

En relación con ello, el presente trabajo acomete el examen de la evolución histórica de las inundaciones en la región cantábrica y la identificación y análisis de los patrones de la circulación atmosférica asociados a las avenidas capaces de originarlas.

## **2. ÁREA DE ESTUDIO, DATOS Y METODOLOGÍA**

El ámbito de trabajo conforma una estrecha franja que se extiende a lo largo de unos 500 km entre la divisoria cantábrica y el mar. Los límites occidental y oriental se han hecho coincidir con los ríos Mera y Bidasoa respectivamente, aunque se han tenido también en cuenta algunos ríos del SO de Francia ya que proporcionan una información complementaria muy valiosa para la interpretación del conjunto de la región.

La mayoría de los ríos cantábricos drena cuencas de pequeño y medio tamaño, muy encajadas y con fuertes pendientes ya que salvan desniveles de hasta 2.000 m en recorridos que no suelen alcanzar 100 km. Sus valles albergan un rico mosaico de usos y unidades de paisaje aunque la presencia humana se concentra en sus fondos, densamente urbanizados y ocupados por todo tipo de actividades e infraestructuras que, por esta razón, resultan muy vulnerables frente al riesgo de inundación a la vez que contribuyen a incrementarlo.

Las precipitaciones frecuentes y regulares del clima oceánico de la región, enmascaran esporádicos paroxismos pluviométricos (Mounier, 1977; Uriarte, 1983). Los ríos cantábricos tienen un módulo relativo elevado aunque sus caudales son moderados a causa de la reducida extensión de la mayoría de sus cuencas (los promedios anuales se sitúan habitualmente en algunas decenas de m<sup>3</sup>/s). De régimen pluvial o pluvionival, presentan máximos invernales o de primavera y estiajes moderados gracias a la relativa regularidad de las precipitaciones.

El estudio de las inundaciones históricas en el Cantábrico parte del periodo instrumental, cotejando los datos de precipitación máxima en 24 horas con la información sobre daños publicada en la prensa y archivos locales (Bárcena y Garmendia, 1999). Si bien se trata de un análisis basado en datos cualitativos, esta labor ha permitido hacer una primera estimación de los umbrales de precipitación a partir de los cuales se pueden generar pérdidas económicas y/o personales. Este enfoque ha llevado inicialmente a desestimar los simples datos de caudales que, al depender de las características de cada cuenca, presentan una gran variabilidad y no permiten establecer comparaciones de una forma tan precisa como ocurre con la precipitación.

A partir de este punto, se ha ido retrotrayendo en el tiempo, consultando recopilaciones de eventos editadas a finales del siglo XIX e inicios del XX, reseñas de avenidas citadas en todo tipo de publicaciones y datos obtenidos directamente en archivos históricos. Pese al inevitable margen de incertidumbre que rodea a las referencias históricas, su integración en una base de datos y su posterior explotación han permitido hacer una primera caracterización en la que, tomando como referencia los daños ocasionados, se determina la frecuencia, localización e intensidad de las inundaciones del pasado en la región cantábrica.

El análisis de la información correspondiente al periodo instrumental ha seguido las siguientes etapas: primero, se estableció un criterio cuantitativo para definir las crecidas significativas en las cuencas hidrográficas cantábricas; a continuación, se obtuvo una tipología de patrones de la circulación asociados a esos eventos; y, por último, se relacionaron las características de la circulación atmosférica con la magnitud y distribución espacial de la precipitación.

Se han estudiado las avenidas con caudales medios diarios correspondientes a periodos de retorno de diez y cinco años obtenidos mediante la aplicación de la ley de Gumbel a los caudales máximos anuales en cada una de las cuencas fluviales. Dado que la serie de datos no supera 38 años y los resultados obtenidos para ambos periodos de retorno son muy similares, se adoptó el criterio de considerar como “significativas” las avenidas de 10 años con el fin de disponer de una muestra de eventos suficientemente representativa. En cada curso fluvial se anotaron los días que superaban este umbral y en aquellos casos en los que rebasan durante varias jornadas sucesivas, se tomó como más representativo el día de máximo caudal, siempre y cuando estuviese separado de otro pico de caudal por al menos 3 días, con el fin de asegurar la independencia entre cada evento.

Los datos de caudal medio diario de los ríos cantábricos entre 1971-2008 se han tomado de las bases de datos del CEDEX (<http://hercules.cedex.es>) y EAUFRANCE (<http://www.hydro.eaufrance.fr>), seleccionándose en un primer momento todas aquellas series completas al 90%. Estas series fueron depuradas, eliminándose aquellas que presentaban inhomogeneidades, obteniendo como resultado final 24 cuencas.

Dado que una crecida puede ser el resultado final de grandes volúmenes de precipitación en sucesivas jornadas, los patrones de circulación fueron extraídos mediante un análisis de secuencias utilizando una variable del conocido análisis en componentes principales (Extended PCA) (Jacobbeit et al, 2006; Philipp, 2009); la longitud de la secuencia temporal fue establecida en 3 días (el día de la crecida y los dos días precedentes), teniendo en cuenta que el tiempo de concentración de las crecidas en la mayoría de los ríos Cantábricos es inferior a 24 horas. En contraste con la aproximación tradicional, que analiza un campo espacial para cada intervalo temporal, se ha optado por el EPCA que permite analizar una secuencia de varios mapas al mismo tiempo. Ello incrementa considerablemente el tamaño de la matriz de datos pero, a cambio, proporciona una aproximación al movimiento de los sistemas perturbados. Esta metodología se ha revelado bastante apropiada para el

análisis de eventos extremos (Weare y Nasstrom, 1982; Compagnucci et al, 2001). El EPCA se ha aplicado a una matriz dispuesta en modo T que permite obtener de manera directa configuraciones espaciales (tipos sinópticos) sin necesidad de ulterior agrupamiento. Para evitar el factor distorsionador que supone la estacionalidad (variación anual en ciertos parámetros como el campo estacional), cada campo diario de presión atmosférica fue normalizado, transformando los valores reales en anomalías Z.

El análisis pormenorizado de algunos episodios relevantes, centrado en Cantabria, hace uso de los datos diarios de precipitaciones correspondientes a la red de AeMet, mientras que la circulación atmosférica fue representada con datos de la topografía de 500 hPa, componentes zonal y meridiana del viento a 850 hPa, velocidad vertical desde la superficie hasta 850 hPa y agua precipitable correspondientes a una ventana que abarca desde 25°O a 15°E y desde 25°N a 55°N. Estos datos fueron extraídos del REANALYSIS NCEP/NCAR.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La base de datos de inundaciones históricas contiene un total de 173 referencias que se distribuyen de manera relativamente regular desde el siglo XIV hasta la actualidad. Una vez descartadas las excesivamente imprecisas o dudosas, se han retenido 125 que, a su vez, se han subdividido en dos bloques correspondientes a los periodos anterior y posterior al año 1800 para poder diferenciar entre los episodios “recientes”, generalmente bien documentados, de los “antiguos” sobre los que, salvando algunas excepciones, tenemos menos información así como para poder detectar posibles cambios en el patrón de distribución.

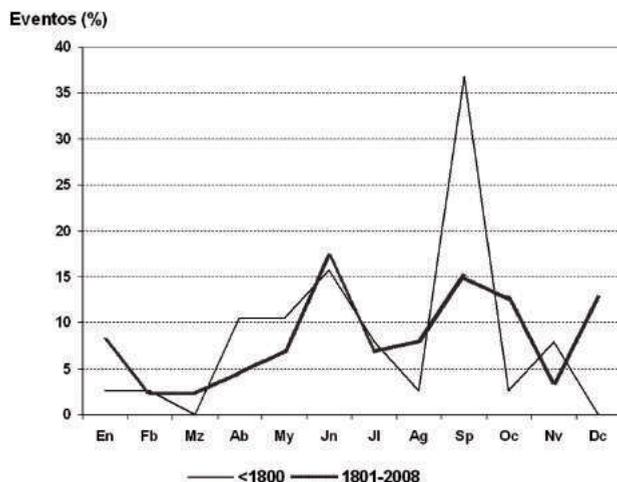


FIG. 1: Distribución mensual de las inundaciones registradas en las fuentes documentales expresada en porcentaje sobre el total anual de cada subperíodo (total de casos: 38 hasta 1800, 87 entre 1801 y 2008).

El análisis de los datos históricos ha proporcionado un primer resultado de gran interés: en el periodo anterior a 1800 el mayor número de eventos se concentra en septiembre, apareciendo un máximo secundario en primavera (abril-junio). Sin embargo, a lo largo de los dos últimos siglos el

máximo secundario primaveral adquiere gran relevancia (junio), hasta igualar al de septiembre, a la vez que aparece una nueva “punta” en diciembre (Figura 1).

Un segundo hecho llamativo es que la distribución a lo largo del año de las inundaciones históricas difiere de la de las simples avenidas fluviales obtenida a partir del análisis estadístico de los datos de aforo registrados en de las cuatro últimas décadas (periodo de recurrencia  $\geq 10$  años). Así, mientras que la mayoría de las avenidas identificadas en el periodo instrumental son invernales, más del 70% de los desastres registrados en las fuentes históricas se han producido en el semestre estival (meses de mayo a octubre).

La interpretación de esta aparente discrepancia nos lleva a analizar qué mecanismos atmosféricos propician dichos eventos. Esto se ha realizado a partir de una tipificación de las situaciones sinópticas y de los patrones de precipitación que las generan. En todo caso hay que tener presente que mientras los eventos excepcionales recogidos en la documentación histórica están asociados generalmente a inundaciones cuya magnitud implica un elevado periodo de recurrencia, los datos instrumentales nos hablan de caudales con un periodo de recurrencia menor, que no siempre derivan en daños significativos.

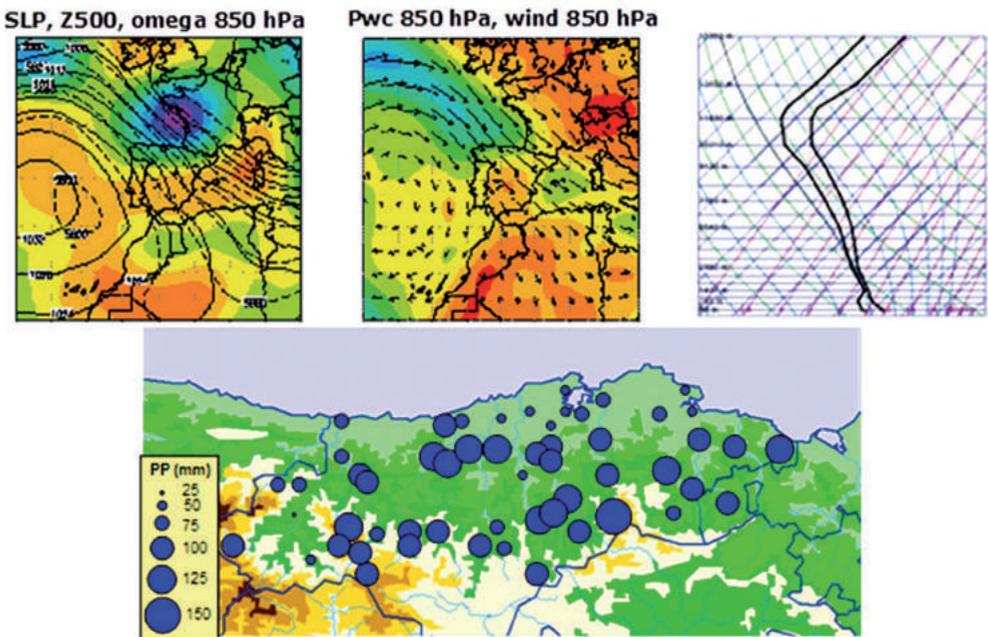


FIG. 2: Avenida del 25-26 de diciembre de 1993:

- (a) Presión a nivel del mar (hPa), altura del geopotencial de 500 hPa y velocidad vertical a 850 hPa (m/s); (b) Contenido de agua precipitable a 850 hPa (kg/gr) y vectores del viento a 850 (m/s); (c) Sondeo de Santander a las 12 UTC; (d) Precipitación diaria (mm) correspondiente al día 25 sobre Cantabria.

Desde el punto de vista sinóptico, el patrón típico de las avenidas cantábricas invernales correspondería a una “Secuencia-Tipo 1” como la que se produjo durante el episodio de los días 24 y 25 de diciembre de 1993 (Figura 2). En este caso, se observa el avance de una perturbación extratropical desde el sur de Groenlandia hasta la cuenca Mediterránea Occidental; este movimiento desencadenó un intenso flujo del NO, prácticamente saturado hasta los 3.000 m de altura.

El patrón espacial de precipitaciones muestra dos características esenciales de estos episodios invernales: la amplitud de las áreas de precipitación intensa, y su concentración en las cabeceras de los ríos (Vega de Pas, 99 mm; Sel de la Carrera 108 mm) y en las montañas circundantes (S. Martín de Villafufre, 116 mm; La Penilla 109 mm), contrastando con valores más moderados de los ámbitos costeros (Santander, 51 mm). Esta elevada pluviometría es el resultado del ascenso orográfico del aire húmedo, que intensifica el movimiento ascendente dentro del sistema ciclónico y la liberación de la inestabilidad condicional. Es sabido que la intensificación orográfica de la precipitación suele ocurrir cuando los vientos en la troposfera media son fuertes y perpendiculares a una cadena montañosa, el aire está saturado y el gradiente térmico es aproximadamente neutro (Barry, 1992).

La “Secuencia-Tipo 2” corresponde al paso relativamente rápido de un embolsamiento de aire frío en niveles altos. Es una situación típica del semestre mayo-octubre en la que se observa una concentración de la precipitación, tanto desde el punto de vista espacial como de su duración temporal. El mejor ejemplo es la avenida del 14 de junio de 1977 (Figura 3), en el que la mayoría de los ríos del sector cántabro oriental registraron un máximo de caudal muy significativo, resultado de las intensas precipitaciones caídas el día anterior (más de 125 mm/24 horas en algunos observatorios). La naturaleza convectiva de estos episodios lluviosos explica esa concentración espacio-temporal a escala regional, pero también su preferencia por los sectores costeros frente a los interiores a escala local. Esto podría explicar también una posible sobrerrepresentación estadística de las avenidas invernales respecto a las estivales, ya que la mayoría de las estaciones de aforo se encuentran en los tramos medios de los valles.

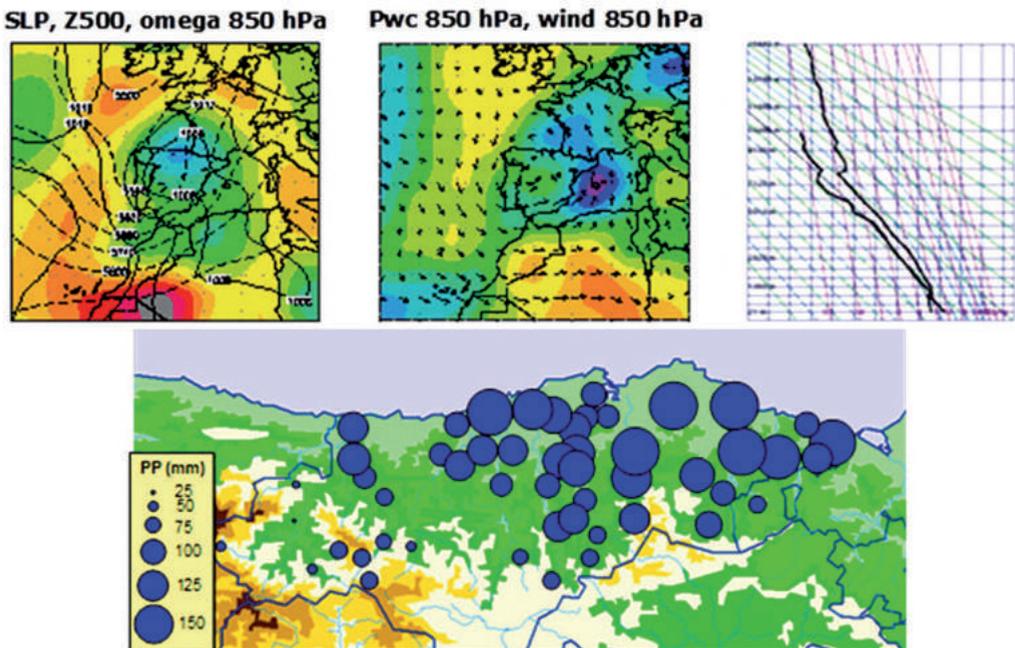


FIG. 3: Avenida del 13 de junio de 1977:

- (a) Presión a nivel del mar (hPa), altura del geopotencial de 500 hPa y velocidad vertical a 850 hPa (m/s);  
 (b) Contenido de agua precipitable a 850 hPa (kg/gr) y vectores del viento a 850 (m/s); (c) Sondeo de Santander a las 12 UTC; (d) Precipitación diaria (mm) correspondiente al día 12 sobre Cantabria.

La “Secuencia-Tipo 3” constituye el ejemplo clásico de los episodios de precipitaciones más intensos y prolongados sobre el litoral cantábrico, pudiendo considerarse el responsable de la mayoría de las inundaciones históricas más graves, a tenor de las descripciones disponibles en las fuentes históricas. Es una situación que puede aparecer en cualquier momento del año, aunque su máximo bimodal (otoño y primavera) refleja su subordinación a fases de circulación meridiana. Estas situaciones tienen su mejor ejemplo en el episodio de tres días de duración que se produjo en agosto de 1983 y que produjo la inundación más importante de la segunda mitad del siglo XX (Figura 4). La inestabilidad y el lento desplazamiento de la célula de bajas presiones produjeron precipitaciones de elevada cuantía e intensidad aunque su foco se fue desplazando a través de la región.

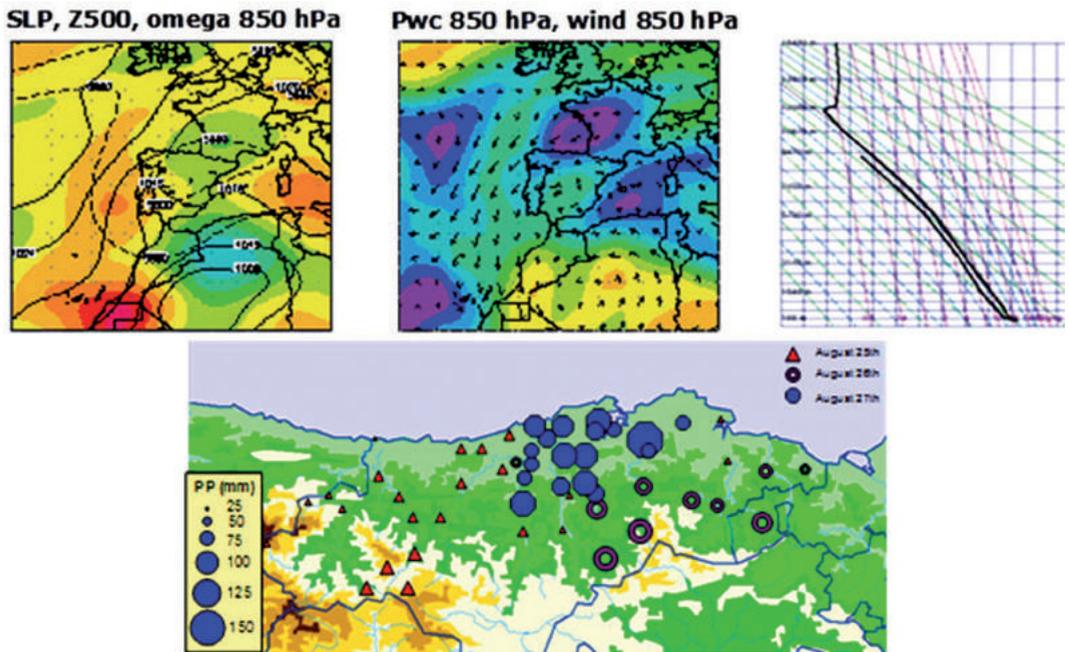


FIG. 4: Episodio del 26-28 de agosto de 1983:

- (a) Presión a nivel del mar (hPa), altura del geopotencial de 500 hPa y velocidad vertical a 850 hPa (m/s);  
 (b) Contenido de agua precipitable a 850 hPa (kg/gr) y vectores del viento a 850 (m/s); (c) Sondeo de Santander a las 12 UTC; (d) Precipitación máxima diaria (mm) entre los días 25 y 27 sobre Cantabria.

La “Secuencia-Tipo 4”, cuyo patrón espacial de precipitaciones y características dinámicas no se incluyen por falta de espacio y escasa frecuencia, corresponde a las avenidas de los ríos del occidente de Asturias y Lugo. Responden a precipitaciones abundantes en las montañas del SO de Asturias, normalmente causadas por el paso de borrascas con una marcada componente SO, aunque no suelen tener la magnitud de crecidas análogas en Galicia o El Bierzo, por su situación a sotavento del Macizo Galaico.

Todo lo anterior permite interpretar la aparente discrepancia que se produce entre los datos procedentes de las fuentes históricas y estadísticas: los episodios advectivos (Figura 5) son típicamente invernales y originan avenidas fluviales con menor periodo de recurrencia, mientras que los convectivos, preferentemente estivales, se traducen en crecidas menos frecuentes pero

potencialmente mucho más desastrosas, dado que a los altos volúmenes y fuerte intensidad de la precipitación se suele añadir su concentración espacial en los tramos bajos de los ríos.

Así, mientras que las avenidas originadas por episodios advectivos, que raras veces generan inundaciones de importancia, se consideran relativamente “normales” y no suelen quedar registradas en los archivos (en los que sólo se registran las situaciones consideradas como excepcionales), las de tipo convectivo están asociados a los mayores desastres, acaparan todo el protagonismo en las fuentes documentales.

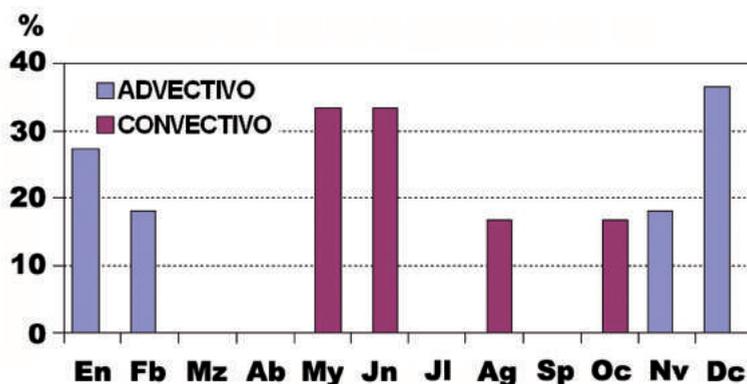


FIG. 5: Distribución mensual de las avenidas registradas entre 1971 y 2008 correspondientes a periodos de retorno superior a 10 años, en función del tipo de situación atmosférica con las que aparecen asociadas.

Por otra parte, no se dispone de una explicación satisfactoria de los cambios en la distribución mensual de las inundaciones reflejados por las fuentes históricas aunque sí es posible adelantar algunas hipótesis de trabajo: de entrada, es probable que la progresiva ocupación de los fondos de los valles por edificaciones, instalaciones industriales e infraestructuras haya supuesto un incremento de la vulnerabilidad frente a las inundaciones otorgando protagonismo a las crecidas de menor periodo de recurrencia. Igualmente hay que tener en cuenta que la intensa deforestación experimentada por las montañas cantábricas a lo largo de los siglos XVIII-XIX y la posterior pratificación de la mayor parte de su superficie han debido alterar significativamente el balance hídrico al nivel de las laderas aumentando y acelerando la escorrentía superficial en los episodios de precipitaciones intensas. Estas situaciones podrían haber acrecentado la frecuencia de inundaciones distintas a las tardoestivales “clásicas”.

Pero también es posible que ese supuesto “desplazamiento” temporal no sea más que un reflejo de las limitaciones de las propias fuentes históricas (que, por otro lado, aún en proceso de análisis), muy desigualmente repartidas en el tiempo y en el espacio y que podrían, alternativamente, sobrerrepresentar a unas u otras cuencas (cuando éstas presentan, tal como también se ha podido demostrar, patrones pluviométricos bastante diferenciados de Oeste a Este). En todo caso, no parece justificado atribuir esos posibles cambios a razones estrictamente climáticas ya que la evolución de la componente social del riesgo de inundación ha sido mucho más intensa que la natural en toda la región.

## CONCLUSIONES

La presente comunicación analiza la recurrencia y evolución de las inundaciones en la vertiente cantábrica a lo largo de la historia moderna y contemporánea a partir de la información contenida en

los registros documentales. La interpretación y tipificación de estos episodios históricos se ha basado en el análisis de las situaciones meteorológicas asociadas a las avenidas fluviales registradas instrumentalmente en los ríos de la región desde 1971 hasta la actualidad.

Las avenidas más frecuentes ocurren en invierno, bajo circulaciones zonales o subzonales rápidas, que causan precipitaciones abundantes y generalizadas sobre la región, con preferencia en las cabeceras de los valles. Durante el semestre cálido, por el contrario, el número de avenidas fluviales es menor, pero el desplazamiento de embolsamientos de aire frío sobre la vertical de la región desencadena ocasionalmente episodios convectivos de gran intensidad pluviométrica y marcada concentración espacial, que en caso de persistir en el tiempo, acaban originando importantes inundaciones. A este tipo de situación, poco frecuente pero mucho más peligrosa, pueden atribuirse la mayoría de los desastres hidrológicos que aparecen recogidos en la documentación histórica. En este última se detecta, igualmente, una variación en la distribución estacional de las inundaciones que, en el periodo posterior a 1800, han aumentado en primavera hasta ser tan frecuentes como a finales de verano y comienzo del otoño. La explicación de este fenómeno parece descansar en una combinación de factores cuya ponderación será objeto de estudio en futuras investigaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- Altava-Ortiz, V.; Barrera, A.; Llasat, M.C.; Prat, M.A.; Gibergans-Báguena, J. and Barnolas, M. (2006). Application of the MM5 and the analogous method to heavy rainfall events. The case of 16-18th October 2003 in Catalonia (NE Spain). *Adv. Geosciences*, 7, 313-319.
- Bárcena Odriozola, P. y Garmendia Pedraja, C. (1999). Estudio de las avenidas en Cantabria: frecuencia, intensidad y tipología. *La climatología española en los albores del siglo XXI*. Asociación Española de Climatología, Barcelona, pp. 43-52.
- Bárcena, P. et Garmendia, C. (2000). Les types de temps associés au risque d'inondation dans la region littorale de Cantabrie (Nord de l'Espagne). *AIC*, 12, 379-386.
- Barrera, A.; Barriendos, M. and Llasat, M.C. (2005). Extreme flash floods in Barcelona County. *Adv. Geosciences*, 2, 111-116.
- Barry, R.G. (1992). *Mountain weather and climate*. London: Routledge, 402 pp.
- Compagnucci, R.H.; Araneo, D. and Canziani, P.O. (2001). Principal sequence pattern analysis: a new approach to classifying the evolution of atmospheric systems. *Int. J. Climatol.*, 21, 197-217.
- Duckstein, L.; Bárdossy, A. and Bogárdi, I. (1993). Linkage between the occurrence of daily atmospheric circulation patterns and floods: an Arizona case study. *J. Hydrol.*, 143 (3-4), 413-428.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007). Fourth Assessment Report: Climate Change. Consultar en: <http://www.ipcc.ch/>
- Jacobeit, J.; Philipp, A. and Nonnenmacher, M. (2006). Atmospheric circulation dynamics linked with prominent discharge events in Central Europe. *Hydrological Sciences Journal*, 51, 946-965.
- Kahana, R.; Ziv, B.; Enzel, Y. and Dayan, U. (2002). Synoptic climatology of major floods in the Negev Desert, Israel. *Int. J. Climatol.*, 22(7), 867-882.
- Llasat, M.C.; Barriendos, M.; Barrera, A. and Rigo, T. (2002). Climatological analysis of flood frequency in Ter, Llobregat and Segre basins from 14th to 20th centuries. In: *Proceedings of the PHEFRA Workshop*, Barcelona, Spain, 16-19 October 2002. Madrid: CSIC.
- Llasat, M.C.; Barriendos, M.; Barrera, A. and Rigo, T. (2005). Floods in Catalonia (NE Spain) since the 14th Century. Climatological and meteorological aspects from historical documentary sources and old instrumental records. *J. Hydrol.*, 313, 32-47.
- Mounier, J. (1977). *Les Climats océaniques des régions atlantiques de l'Espagne et du Portugal*. Atelier Reproduction des theses, Universite Lille III. 1221 pp.

- Philipp, A. (2009). Comparison of principal component and cluster analysis for classifying circulation pattern sequences for the European domain. *Theoretical and Applied Climatology*, 96, 31-41. DOI 10.1007/s00704-008-0037-1.
- Ramis, C.; Llasat, M.C.; Genovés, A. and Jansà, A. (1994). The October-1987 floods in Catalonia: synoptic and mesoscale mechanisms. *Meteorol. Appl.*, 1, 337-350.
- Uriarte, A. (1983). *Régimen de precipitaciones en la costa NW y N de la Península Ibérica*. Guipúzcoa: Caja de Ahorros Provincial de Guipúzcoa, 549 pp.
- Weare, B.C. and Nasstrom, J.N. (1982). Examples of extended empirical orthogonal function analysis. *Monthly Weather Rev.*, 110, 481-485.
- Yarnal, B. and Frakes, B. (1997). Using synoptic climatology to define representative discharge events. *Int. J. Climatol.*, 17, 323-341.