

Relación entre periodos frios y cambios de patrón de macroescala (oscilación del Atlántico Norte) en las inundaciones en el Río Guadiana

Relationship between cold periods and changes in macroscale patterns (North Atlantic oscillation) in Guadiana River floods

J.A. Ortega y G. Garzón

Departamento Geodinámica. Facultad de Geología. UCM. 28040. Madrid.

ABSTRACT

Global changes in climate have been widely documented but the relationships between these changes and floods are not easy to establish. Hydroclimatology offers an important tool in order to improve our knowledge about the flood producing mechanisms, which can be used to explain historical and palaeohydrological events. Storm cells and mesoscale systems develop into small floods, mainly at tributary streams. But a synoptic scale relates better to Guadiana River floods, dominant in winter. At a higher level, macroscale atmospheric configuration can also explain flood generation at the Guadiana River and, particularly, the North Atlantic Oscillation (NAO) that is one of the most important recurrent patterns of atmospheric circulation. There is no reliable evidence, however relating NAO and historical floods in Europe, especially for central European countries. This situation changes in the Iberian Peninsula, specially in the Southwest that shows a good relationship between winter floods and a negative NAO phase. Recent Guadiana River floods (XX century) could be related to these phenomena, but there's not an index who covers previous events. Guadiana palaeoflood records compiled using slackwater deposits are dated by ¹⁴C radiometric methods and associated, when it is possible to a historical flood event. Results shows event clusters during cooling phases and it is likely that they reflect moments of climatic variability.

Key words: natural hazards, palaeofloods, NAO, global change, hydroclimatology

Geogaceta, 43 (2007), 119-122
ISSN: 0213683X

Introducción

Los cambios globales en el clima terrestre afectan a numerosos aspectos científicos, pero no es fácil establecer sus relaciones con procesos como las inundaciones fluviales cuando los registros de las mismas apenas llegan a alcanzar los 500 años de antigüedad en el mejor de los casos. Algunos elementos que rigen el comportamiento del clima, como son los patrones de macroescala y en nuestro caso la Oscilación del Atlántico Norte vienen definidos por índices, como el de la NAO (Walter y Bliss, 1932; Hurrell, 1995) que apenas se adentran 150 años en la reciente historia. La relación de las inundaciones con este índice puede informar de los cambios recientes, pero no consigue alcanzar periodos preindustriales sin influencia humana, pues llega solo hasta 1864.

Las teleconexiones son relaciones entre atmósfera y océanos en regiones sepa-

radas y que son definidas estadísticamente (Hirschboeck *et al.*, 2000). La escala es un factor importante, describiéndose tres escalas de funcionamiento en la cuenca del río Guadiana: microescala o de tormenta, mesoescala y sinóptica (Ortega y Garzón, 2002). Las teleconexiones tienen un rango espacial mayor a la sinóptica, considerándose relaciones de macroescala. No es un sistema productor de lluvias en sí, y tampoco de un tipo de tiempo, ya que operan a través de generación o no de sistemas frontales de escala sinóptica, aunque la conexión es a mayor escala. Además, son perturbaciones o patrones de variabilidad de baja frecuencia (Martín Vide y Olcina, 2001); en este caso, el índice NAO, propuesto inicialmente por Walter y Bliss (1932) para la diferencia de presiones entre Azores e Islandia y luego modificado por Hurrell (1995) que traslada la medida a Lisboa, contempla cambios a escala anual y decadal. En Europa la

teleconexión más estudiada es la NAO, un patrón de variaciones en la circulación atmosférica a gran escala que supone cambios en las temperaturas superficiales de los océanos y corrientes, en la intensidad y número de tormentas, en las precipitaciones e incluso en la economía (Hurrell *et al.*, 2003). Los periodos de NAO positiva hacen que los vientos alisios cargados en humedad se desplacen hacia el norte de Europa, con frecuentes tormentas frente a las Islas Británicas, los periodos de NAO negativa hacen que en las Azores se deshaga el bloqueo que impide habitualmente la entrada de frentes húmedos al mediterráneo y se den más frecuentemente tormentas en el sur de Europa.

Tanto los eventos históricos, reseñados a partir de archivos anteriores a esta fecha, como los que aporta el estudio de paleoinundaciones, reseñados a partir del registro sedimentario empleando depósitos de remanso (*slackwater deposits*), su-

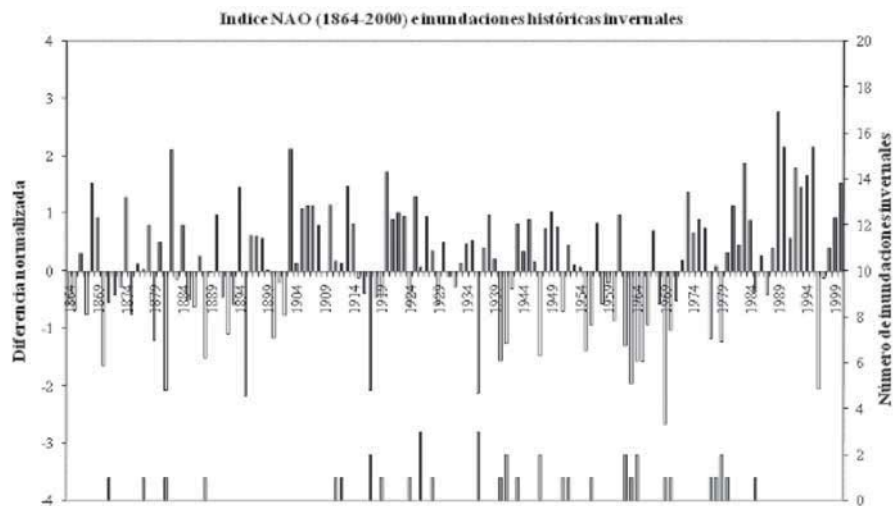


Fig. 1.- Relación entre las inundaciones de la cuenca y las oscilaciones del índice NAO. La fase positiva del índice figura en negro, la negativa en blanco y el número de inundaciones en la cuenca en gris.

Fig. 1.- Relationship between Guadiana river floods and NAO index oscillation. Positive NAO index phase in black, negative phase in white and number of Guadiana floods in grey colour.

ponen una valiosa información que puede servir para entender el clima y sus cambios recientes.

Los objetivos del presente trabajo pretenden establecer las relaciones entre clima e inundaciones y demostrar las causas de la ocurrencia de eventos de distinta magnitud asociados a momentos de cambio en las circunstancias climáticas. Para ello la metodología seguida ha sido recopilar información histórica de inundaciones, completarla a través de los registros de paleoinundaciones, y relacionar las crecidas antiguas con series climáticas de detalle para el Holoceno, como las variaciones en el índice NAO o las secuencias de pulsaciones frías y cálidas de Chaline (1985).

Resultados

A partir del estudio de estas dos series de datos sobre inundaciones antiguas y cruzando la información con los episodios que muestran algún tipo de variación hidroclimática, tanto a pequeña escala (NAO), como a escala mayor (pulsaciones) se han obtenido una serie de resultados que se exponen a continuación:

Avenidas históricas e índice NAO

La serie del índice NAO, que expresa la diferencia de la anomalía de los valores de presión a nivel del mar entre dos lugares alejados del océano Atlántico, como son las islas Azores o Lisboa (según autores) e Islandia se ha cruzado con la información de inundaciones históricas en la cuenca del Guadiana nos ha permitido es-

tablecer relaciones. En el caso de la cuenca del río Guadiana se ha contrastado el índice NAO propuesto por Hurrell (1995) con las series históricas de precipitación invernal en la estación de Badajoz (1866-actualidad) y con las series de inundacio-

nes históricas (1500AD-actualidad) reconstruidas por nosotros a partir de recopilaciones de datos de diversas fuentes (Ortega y Garzón, 1997; Ortega, 2007).

La relación entre NAO y lluvias invernales ya ha sido demostrada para la península Ibérica por autores como Rodrigo *et al.* (1994 y 1996); Estaban-Parra, *et al.* (1998); Rodríguez-Puebla *et al.* (1998 y 2001); Goodes y Jones (2002) y Trigo *et al.* (2004), estableciendo una buena correlación entre las lluvias invernales y la NAO en fase negativa. Esta relación es especialmente buena para la zona SW de la Península, incluyendo las cuencas del río Tago y sobre todo Guadiana, de aquí la importancia estratégica que esta última cuenca tiene para los estudios climáticos y paleoclimáticos. La principal contribución del presente trabajo es establecer la relación entre dicho índice e inundaciones históricas (Fig.1), demostrando el aumento de la frecuencia de inundaciones invernales con periodos de NAO en fase negativa (Ortega y Garzón, 2004 y 2007; Ortega *et al.*, 2005), se han efectuado correlaciones estadísticas entre precipitaciones invernales en la estación de Badajoz, inundaciones invernales en el río Guadiana y el índice

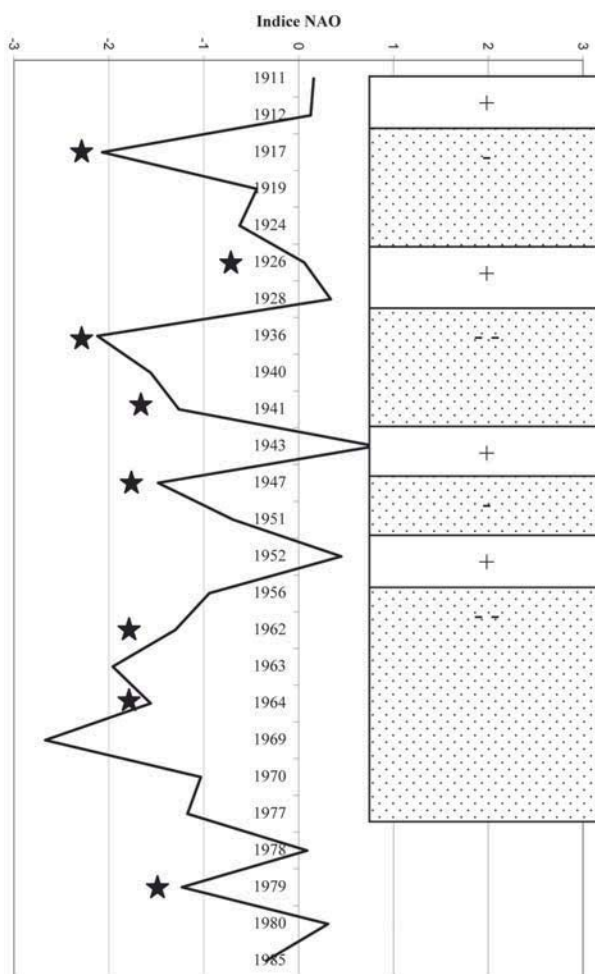


Fig. 2.- Valores del índice NAO para las crecidas ocurridas durante el siglo XX. Las estrellas indican la ocurrencia de varios eventos de crecida un mismo año. Los periodos en punteado momentos negativos del índice NAO (-) o fuertemente negativos (-), los periodos en blanco momentos positivos del índice (+) en los que hay inundaciones.

Fig. 2.- NAO index for the Guadiana floods in the XX century. Stars shows the occurrence of various flood events in a year. Dot periods are negative values of NAO index (-) or strongly negative (-), white periods are positive values of NAO index with Guadiana floods.

NAO, resultando que las lluvias se relacionan con el índice con un valor de -0.68, es decir la precipitación invernal es elevada cuando el índice es negativo, el valor de la correlación es menor, aunque significativamente negativa con las inundaciones, con un valor de -0.48.

Si analizamos el valor del índice NAO con la presencia-ausencia de crecidas en la cuenca y el número de eventos ocurridos en un año, el resultado obtenido es que el valor medio del índice NAO cuando en un año no existen inundaciones en el río Guadiana es positivo (0,35), pero cambia a negativo (-0,6) si durante el año encontramos un evento de crecida y muy negativo (-1,48) si durante el año hay dos crecidas o más. Esto nos sugiere una clara relación entre el patrón climático que domina la variación del índice y que durante una fase de tipo negativo o inclusive fuertemente negativa aparezcan una o varias crecidas en el río Guadiana.

Las relaciones entre el índice y las crecidas son mejores a partir de comienzos del siglo XX, cuando los valores del índice NAO parecen tender a ser fuertemente negativos (cifras que superan el valor de -1 e inclusive en algún caso sobrepasan -2), con la excepción de algunos años en el que el valor del índice es positivo (Fig.2). El comportamiento general del índice muestra una permanencia mayor de la usual dentro del campo negativo, con periodos positivos intercalados en los que suele darse como máximo un evento de crecida. Las estrellas indican momentos de ocurrencia de varios eventos que en casi todos los casos suponen valores del índice muy negativos, como ya se ha comentado anteriormente. Las fases más negativas, que además coinciden con momentos de mayores inundaciones en la cuenca son: 1912-1926, 1928-1941, 1947-1951 y 1956-1977.

De todo el siglo XX, la crecida de mayor magnitud es la de 1947, seguida por la de 1941 y 1979. Por lo reciente de los eventos, no se han incluido las crecidas de 1996 y 1997, ambas de magnitud media e inclusive similares a la de 1941, que suponen también un periodo negativo del índice (-2.06 y -0.11 respectivamente) y parece corroborar la tendencia mostrada por la curva.

Paleocrecidas y pulsaciones frías

Otro elemento importante para relacionar clima e inundaciones es la información obtenida a partir de los estudios de paleocrecidas (Ortega y Garzón, 2003; Ortega, 2007). Se ha localizado en el sur

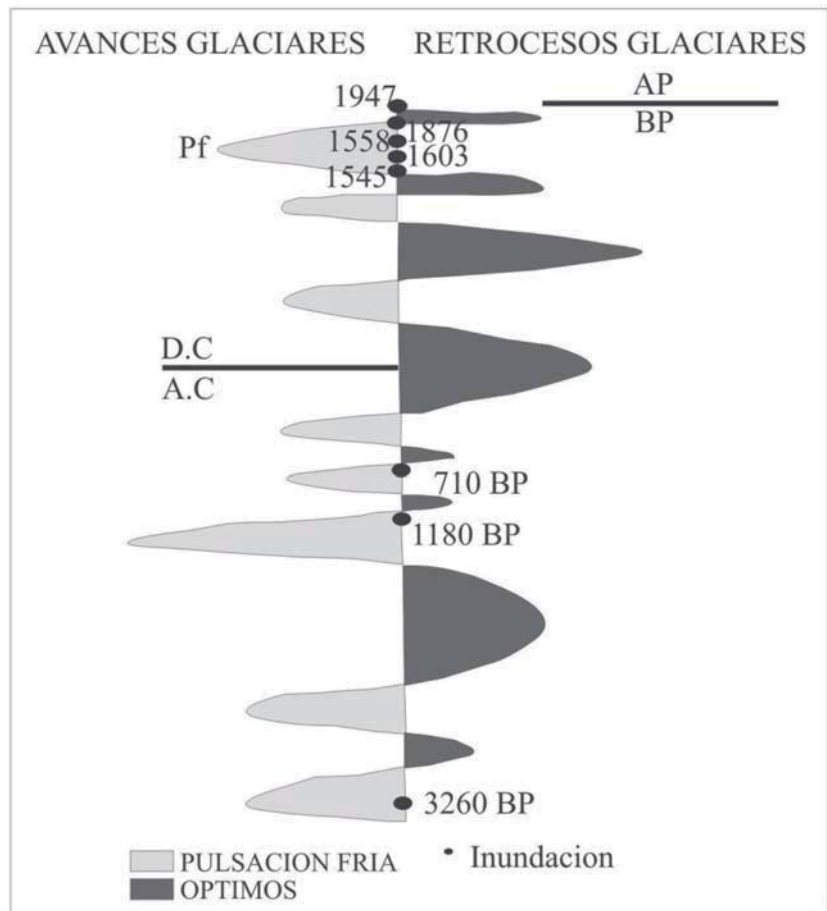


Fig. 3.- Relación entre las inundaciones de magnitud media-alta obtenidas a partir de registros históricos y paleoinundaciones, y las pulsaciones frías-cálidas aportadas por Chaline (1985).

Fig. 3.- Relationships between medium-high magnitude floods (obtained towards historical record and palaeofloods) and cold-hot pulses suggested by Chaline (1985).

de Portugal (zona de Pulo do Lobo, Alentejo) y en la cuenca media del río Guadiana (Estrecho de las Hoces, Puebla de Don Rodrigo) unos buenos afloramientos de depósitos de remanso (*slackwater deposits*). Este tipo de sedimentos suponen un excelente indicador del nivel máximo alcanzado por las crecidas, y al mismo tiempo pueden llegar a datarse gracias al contenido en materia orgánica (*charcoal*) procedente de los detritus flotantes que el río arrastra en su crecida.

Hemos empleado el registro de eventos antiguos (3260 BP-actualidad) para la cuenca media y baja del río Guadiana para contrastar los momentos de crecida con las pulsaciones frías y cálidas definidas en Europa por Chaline (1985). Los resultados (Fig.3) muestran que las crecidas de magnitud media-alta en la cuenca coinciden con momentos de pulsaciones frías, tanto los eventos de paleoinundaciones más antiguos encontrados (edades calibradas de 3260 ± 40

BP, 1180 ± 40 BP y 710 ± 40 BP) como los eventos asociados a determinadas inundaciones históricas (1545AD, 1603AD, 1758AD, 1823AD y 1876AD). Aunque para algunas pulsaciones frías no hemos encontrado registro de inundaciones en la cuenca, es importante destacar que los grandes eventos de crecida nunca aparecen coincidentes con momentos de pulsación cálida. Asimismo existe una relevante agrupación de eventos en la última pulsación fría, entre 1500 y 1850 que coincidiría con la pulsación Fernau.

Los tres registros de crecida más antiguos obtenidos por nosotros en la cuenca del Guadiana se encontrarían dentro de los periodos de concentración episodios de crecida durante el Holoceno definidos por Thorndycraft y Benito (2006). Estos autores muestran siete periodos en los que es probable que signifique variabilidad climática (fases frías o cálidas), de estos, los dos más recientes (3880-3085 BP y 1300-0 BP Cal.) son en los que se concentran las paleoinundaciones del río

Guadiana. Estos tres eventos antiguos encontrados se incluyen todos dentro de pulsaciones frías, y además los datados en 1180 ± 40 BP y 710 ± 40 BP, más el gran evento de 1876AD se encuentran en momentos de cambio o transición entre pulsaciones con grandes crecidas asociadas.

Es importante reseñar que no hemos encontrado crecidas asociadas con periodos cálidos (excepto la reciente de 1947) y esto contrasta con lo obtenido por Thorndycraft y Benito (2006), que señalan eventos dentro del Periodo Medieval Templado (MWP). Las diferencias en el comportamiento de los ríos estudiados por estos autores (río Segre y otros de la vertiente Mediterránea) y el seguido por el Guadiana podría deberse a la diferencia entre el tipo de vertiente (atlántica frente a mediterránea). Ambas cuencas siguen un comportamiento similar durante las etapas de pulsación fría, como son los eventos asociados con el periodo de Pequeña Edad de Hielo (crecidas de 1603AD en el Guadiana, 1617AD río Segre).

Conclusiones

La relación entre las inundaciones en la cuenca del río Guadiana y algunos elementos climáticos de gran alcance temporal, como pulsaciones frías o la NAO es buena e incluso muy significativa. Acerca de esta última no tenemos constancia más allá de mediados del siglo XIX.

Los periodos de NAO negativa y sobre todo valores del índice de Hurrell fuertemente negativos se relacionan muy bien con las inundaciones invernales, las dominantes en toda la cuenca, pero sobre todo las del propio río Guadiana.

A lo largo del siglo XX y respecto al siglo XIX los eventos de inundación invernales registrados presentan en casi todos los casos valores del índice muy negativos, y una buena correlación con el índice NAO. Parece que el índice se ha agudizado, haciéndose los valores negativos más altos, esto se traduce en la ocurrencia de más de un evento de crecida

invernal durante las fases fuertemente negativas dentro de la cuenca del río Guadiana.

Las pulsaciones frías también están relacionadas con la incidencia de eventos, sobre todo de media y gran magnitud, que son los conservados en el registro de paleocrecidas. Éstas parecen localizarse en momentos de cambio o transición entre pulsaciones frías y cálidas.

Las paleocrecidas e inundaciones históricas nos permiten conocer las relaciones climáticas en la cuenca más allá de las cortas series instrumentales de la mayoría de los pluviómetros españoles o de las redes foronómicas. La relación entre clima y eventos de crecida se muestran con un gran potencial para determinar la influencia del cambio global actual en los complicados sistemas hidrológicos.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado dentro de los proyectos del MCYT: N° BTE-2003-045 y N° CGL2004-03049.

Referencias

- Chaline, J. (1985). *Histoire de l'homme et des climats au Quaternaire*. Doin, Paris. 366p.
- Esteban-Parra, M.J., Rodrigo, F.S. y Castro-Díez, Y. (1998). *International Journal of Climatology*, 18, 1557-1574.
- Goodes, C.M. y Jones, P.D. (2002). *International Journal of Climatology*, 22, 1593-1615.
- Hirschboeck, K., Ely, L. y Maddox, R. (2000). En: *Inland flood hazards*. (E. Wohl, Ed.). Cambridge University Press, 39-70.
- Hurrell, J. W. (1995). *Science*, 269, 676-679.
- Hurrell, J., Yochanan, K., Ottersen, G. y Visbeck, M. (2003). En: *The North Atlantic Oscillation: Climatic significance and environment impact*. Monografía AGU, 134, 1-35.
- Martín Vide, J y Olcina, J. (2001). *Climas y tiempos de España*. Alianza Editorial, 258p.

- Ortega, J.A. y Garzón, G. (1997). *Inundaciones históricas en el río Guadiana*. En: Cuaternario Ibérico (J. Rodríguez, Ed.). AEQUA. Huelva, 365-367.
- Ortega, J.A. y Garzón, G. (2002). En: *Aportaciones a la geomorfología en el inicio del tercer milenio*. (A. Pérez González, J. Vegas y M.J. Machado, Eds.). IGME, 97-102.
- Ortega, J. A. y Garzón, G. (2003). *Palaehydrology of the Guadiana River*. Barcelona. Comisión Europea, 33-38.
- Ortega, J.A. y Garzón, G. (2004). *Contribuciones recientes sobre geomorfología*. Sociedad Española de Geomorfología, II, 117-127.
- Ortega, J.A., Potenciano, A. y Garzón, G. (2005). En: VI Internacional Conference on Geomorphology Zaragoza. Abstract Volume, 428.
- Ortega, J.A. y Garzón, G. (2007). En: *Contribuciones al Estudio del Periodo Cuaternario* (J. Lario y P. G. Silva, Eds.). AEQUA, Ávila, 5-7.
- Ortega, J. A. (2007). *Paleocrecidas, avenidas recientes e hidroclimatología en la cuenca media y baja del río Guadiana*. Tesis Doctoral. Univ. Complutense Madrid, 535 p.
- Rodrigo, F.S., Esteban-Parra, M.J. y Castro-Díez, Y. (1994). *Climatic Change*, 27, 397-418.
- Rodrigo, F.S., Esteban-Parra, M.J. y Castro-Díez, Y. (1996). *Weather*, 51, 210-219.
- Rodríguez-Puebla, C., Encinas, A.H., Nieto, S. y Garmendia, J. (1998). *International Journal of Climatology*, 18, 299-316.
- Rodríguez-Puebla, C. Encinas, A.H. y Sáenz, J. (2001). *Hydrology and Earth System Sciences*, 5, 233-244.
- Thorndycraft, V. y Benito, G. (2006). *Quaternary Science Reviews*, 25, 223-234.
- Trigo R.M., Pozo-Vazquez, D., Osborn, T.J, Castro-Díez, Y., Gámis-Fortis, S. y Esteban-Parra, M.J. (2004). *International Journal of Climatology*, 24, 925-944.
- Walker, G.T. y Bliss, E.W. (1932). *World weather*, V Memories of the Royal Meteorological Society, 4, 53-84.