

Evaluación de la peligrosidad de las crecidas extraordinarias del río Duero en Zamora: hidrología histórica, hidráulica y patrimonio histórico

M.J. Machado¹, O. Castillo², M. Barriendos³, M. Calle¹, N. Greenbaum^{1,4}, A. Medialdea⁵, Y. Sanchez-Moya⁶ y G. Benito¹

¹ Departamento Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid

² Departamento de Ingeniería Industrial e Ingeniería Civil, Escuela Politécnica Superior de Algeciras, Algeciras

³ Departament d'Història Moderna, Universitat de Barcelona, Barcelona, Catalunya

⁴ Department of Geography and Environmental Studies, University of Haifa, Haifa, Israel

⁵ Institute of Geography, Fac. Mathematics & Natural Sciences, University of Cologne, Cologne, Germany

⁶ Instituto de Geología Económica, CSIC-UCM, Madrid

ASSESSMENT OF FLOOD RISK FOR EXTRAORDINARY RIVER DUERO FLOODS AT ZAMORA: HISTORICAL HYDROLOGY, HYDRAULICS AND HISTORIC HERITAGE: The present study aims at the appraisal and latter development of a comprehensive methodology that enables a better assessment of extraordinary river Duero floods impact on infrastructures in general and on historical heritage areas in particular. Due to the long-lasting historical and sedimentary records of the area, estimations and evaluations integrate different data sources and time scales. Flood data for the Douro River at Zamora have been compiled (760 years). During this period a total of 11 catastrophic floods were identified (e.g. 1739 and 1860), as well as over 30 extreme floods (e.g. 1636). Documentary data provided information on: 1) flood levels; 2) classification of events according to flood water level and damage. Temporal changes in the magnitude and frequency of floods have a strong correlation with climatic variations. Flood frequency analysis using gauged and historical floods shows differences in the discharge figures calculated by the Water Authority in Zamora.

Palabras clave: Peligrosidad de inundaciones, hidrología histórica, seguridad de patrimonio cultural, cambio climático.

Key words: Flood hazards, historical hydrology, cultural heritage safety, climate change

Introducción

El presente trabajo es parte de un proyecto en progreso, que persigue implementar una metodología integral que mejore la evaluación del impacto extraordinario de las inundaciones del río Duero sobre las infraestructuras en general, y sobre las áreas del patrimonio cultural e histórico en particular. Este estudio propone avanzar en la reconstrucción de los caudales asociados a crecidas extremas históricas en el río Duero a su paso por Zamora, y sus relaciones con la variabilidad climática.

Zona de estudio

El río Duero, constituye uno de los principales ríos de la Península Ibérica, y de acuerdo con Pardé (1953), es el río con mayores inundaciones en Europa en comparación con otros ríos europeos de tamaño similar. El clima, de tipo mediterráneo

continental, tiene una fuerte influencia Atlántica hacia su desembocadura en Oporto. La precipitación media anual es de alrededor de 500 mm, aunque con una alta variabilidad interanual entre 350 y 800 mm, y el régimen de lluvias se asocia principalmente con sistemas frontales Atlánticos que cruzan la Península Ibérica entre noviembre y abril. Las inundaciones extremas del río Duero están relacionadas con la persistencia de las lluvias durante el invierno que se puede combinar con el deshielo de las cordilleras que rodean la cuenca, pudiendo generar caudales que superan en más de 30 veces el caudal medio. La Confederación Hidrográfica de Duero señala que solo en la provincia de Zamora, las crecidas provocan al año daños valorados en 270.622 euros (promedio 2009-2013). Por tanto, la reconstrucción de los eventos de inundación y su relación con la variabilidad del clima a largo plazo constituye un pilar importante para entender las relaciones clima-inundaciones y, por tanto, en la evalua-

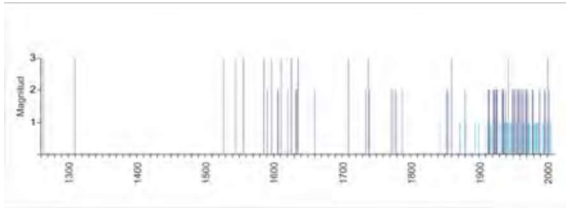


Fig. 1. Registro de las inundaciones históricas en Zamora, según categorías.

Fig. 1. Historical flood record in Zamora.

ción de la peligrosidad de las crecidas extraordinarias del río Duero en Zamora y sus posibles medidas de adaptación (Machado et al., 2016).

Resultados

En este trabajo se combinan datos de inundaciones procedentes de dos fuentes: a) aforos (continuos desde 1914), y b) histórico-documentales.

Registros de aforos

Los registros de aforos de interés para el estudio de inundaciones en Zamora corresponden a las estaciones: Carrascal (2066; años 1918-2010) situada 8 km aguas abajo de Zamora, Zamora (2121; años 2002-2014), Villachica (2096; 1929-1967) y Toro (2062; 2011-2014), a 25 y 28 km aguas arriba. Además, se dispone de datos de aforos puntuales correspondientes a la estación hidroeléctrica de El Porvenir (Rodríguez Marquina, 1949). A partir de estas estaciones se ha podido completar un registro de 96 años, comprendido entre 1914 y 2013. La mayor inundación de este registro corresponde a 1936, con $2130 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, mientras que la segunda se registró en 2001 con un caudal de $1980 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. La inundación de 1936 ocurrió el 21 de febrero y se enmarcan dentro de un invierno excepcional con repetidos picos de inundación desde diciembre a abril (Ballesteros et al., en prensa). Lamentablemente, la información disponible es limitada dado que coincidió con las elecciones generales de la Segunda República, antes del inicio de la Guerra Civil.

Registros histórico-documentales

Los datos históricos de avenidas proceden de documentos publicados basados en fondos inéditos, y de información inédita de

documentos oficiales y eclesiásticos de la ciudad de Zamora. Dentro de estos informes recopilados destacan los realizados para construcción de las presas en el Duero y Esla recogidos en los estudios de Rodríguez-Marquina (1949). Asimismo, en la localización, identificación y medición de marcas de avenidas históricas tanto en el casco urbano, como en las áreas de vegas, puentes y aceñas, se han tenido en cuenta los mapas y grabados de Anton van der Wyngaerde en 1570 (Kagan, 1986), Josep Auguier en 1756 (Museo de Zamora), la colección de planos del arquitecto municipal Segundo Vilorio de 1880 (Archivo Histórico Provincial de Zamora), así como periódicos regionales (La Voz, La Opinión).

Los registros documentales de Zamora comprenden esencialmente una serie continua desde 1545 a 1860 (Barriandos y Rodrigo, 2006), una serie no continua (Barriandos, inédito) entre 1256 y 1545, así como los registros publicados por Rodríguez Marquina (1940, 1949) y de datos históricos procedentes de Fontana Tarrats (1971-1977). Igualmente, esta serie histórica de inundaciones se ha comparado y contrastado con la serie histórica de inundaciones en Régua (Portugal). Se ha realizado una clasificación de su magnitud relativa en relación con los efectos que se deducen de las descripciones documentales: 1) Ordinarias, cuando el flujo está confinado en el canal y los bancos del lecho mayor; 2) Extraordinarias, cuando el flujo se vierte sobre la llanura de inundación, con algunos daños pero sin que exista una gran destrucción, y 3) Catastrófica, cuando las inundaciones resultan en daños generalizados y destrucción de infraestructuras (Fig.1).

Los registros de inundaciones son escasos para el periodo de Anomalía Climática Medieval (800-1300 CE), caracterizada por una elevada variabilidad hidrológica. Los registros de grandes inundaciones son completos para la Pequeña Edad del Hielo (PEH; 1300-1850 CE) y para el periodo más reciente (post-1850 EC), con excepción de la etapa inicial (XIV), que corresponde a una etapa de gran convulsión social, destrucción y migraciones forzadas relacionadas con las guerras civiles ligadas a la sucesión de la corona de Castilla. El 86,6% del total de

crecidas tipo Catastróficas se han producido durante este periodo climático caracterizado por comportamientos climáticamente anómalos, y muy en particular durante los primeros estadios y último estadio de la PEH. En los dos casos coinciden con episodios meteorológicos extremos de lluvias continuadas durante los meses de invierno. Cabe destacar un cambio en la estacionalidad de las crecidas de mayor magnitud. Mientras que las crecidas de carácter catastrófico durante el siglo XVI y principios del XVII ocurren mayoritariamente en enero y las extraordinarias a inicios de la primavera (marzo), hacia el estadio final de la PEH, las crecidas de mayor magnitud tienden a ocurrir entre febrero y marzo (con excepción de la crecida de 1860). Este patrón de estacionalidad se asemeja al observado en las crecidas extraordinarias durante los últimos 150 años (marzo-abril). En términos generales, la crecida histórica de mayor magnitud se registró, de acuerdo a nuestros datos, en 1860 y alcanzaría los $3000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. En la escala del El Porvenir (aguas abajo de Zamora; Rodríguez Marquina, 1949) se registraron otras crecidas extremas en 1872 ($1864 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), 1873 ($1860 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), 1880 ($2370 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), 1881 ($2210 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), 1895 ($2380 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), 1900 ($2098 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), 1909 ($2155 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) y 1911 ($1542 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$). En el siglo XVIII las mayores crecidas se produjeron en 1739 y 1709.

Evolución urbanística y marcas de crecidas

La ciudad de Zamora, con su fisionomía alargada, paralela al río y aun parcialmente amurallada, atesora un importante conjunto arquitectónico, mayoritariamente románico (siglos X-XIII). Su expansión urbanística hacia el este, paralela a la zona ribereña, se hizo mayormente en tres fases, coincidiendo con fases de importante despegue económico y poblacional (Gutiérrez González, 1993; Larrén, 1999), en los siglos XI, XII y XIV. La mayor frecuencia de información relativa a las crecidas extraordinarias en la ciudad de Zamora, parece coincidir con la 3ª gran expansión urbanística en dirección a la Puebla de Valle, área de la ciudad que parte de la Ronda del Degolladero en dirección al río. Durante este período se asiste a un aumento

demográfico en la ciudad debido a migraciones de provincias vecinas y a un florecimiento económico, que ya no depende sólo de las actividades económicas tradicionales ligadas a los cereales y ganadería (lana), sino al incremento de la actividad comercial y artesanal. Estas actividades se desarrollaban (y se seguirán desarrollando hasta finales del siglo XIX) en las nuevas zonas urbanas ribereñas alrededor del Puente Nuevo, así como en las zonas de aceñas. Así, destaca Pinilla en la margen derecha, cuya actividad ligada a la industria de la lana, paños y tenería ya se refiere a finales del siglo XI (Gutiérrez González, 1993), y las aceñas de la Pinilla (siglo XII) y de Cabañales (XV-XVI), en la margen izquierda, tradicionalmente área de vegas, ligadas a tenerías y ollerías.

Los registros documentados de marcas de crecidas entre los siglos XIV y XVIII, se concentran en las áreas ribereñas de nueva expansión comercial y artesanal al este del Puente Nuevo (calles de Balborraz, Baños, S^{ta} María de la Vega), favorecida no solo por sus características geomorfológicas e hidráulicas, sino principalmente por su mayor exposición y vulnerabilidad al riesgo.

Los cambios urbanísticos que tienen lugar a partir del siglo XIX parecen también configurar la distribución espacial y aumento en el registro de edificios y áreas afectados. En el inicio del siglo con las invasiones militares francesas tiene lugar el derribo de gran parte de las murallas que todavía ofrecían protección no solo de tipo militar (Larrén, 1999), sino indirectamente frente a los riesgos de inundación de parte de la ciudad de Zamora. Sin embargo, los mayores cambios tendrán lugar a mediados y finales del siglo XIX, con la modernización de la ciudad (proyecto de Segundo Vitoria 1880), y a mediados del siglo XX, con la construcción de la carretera de Vigo (límite oriental de la ciudad, cerca de la confluencia con el Río Valderaduey). En este proceso de crecimiento urbano destaca, por un lado, el derrumbe de gran parte de los remanentes del recinto amurallado en sus partes superiores (Gutiérrez González, 1993) y que afectó a la llanura de inundación, así como a cambios en la localización y crecimiento de las barras longitudinales, y por otro lado la transforma-



Fig. 2. Mapa de zonas inundadas en la crecida de 100 años de retorno (SNCZI), y edificios de patrimonio afectados.

Fig. 2. 100-yr flood map and heritage buildings affected (SNCZI)

ción del espacio natural de la zona ribereña, esta última también relacionada con las nuevas configuraciones del sistema de saneamiento.

En el siglo XX, la expansión urbana de Zamora ha incluido zonas afectadas por inundaciones históricas y recientes, en los arrabales de Pinilla, Cabañales, San Frontis en la margen izquierda del río Duero, y el arrabal de Olivares en la margen derecha. En el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) estos arrabales aparecen afectados por los niveles de inundación durante eventos con periodos de recurrencia media de entre 10 y 100 años (Fig. 2). En estas zonas se incluyen algunos edificios y bienes de patrimonio cultural que históricamente han sido afectados por inundaciones. Sin embargo, los caudales calculados para elaborar estos mapas del SNCZI no han tenido en cuenta los registros históricos, encontrándose diferencias notables en los caudales asociados a los cuantiles superiores a 100 años cuando

T años	Gumbel	GEV	TCEV	SNCZI	Caumax
5	1400	1400	1380		1512
10	1770	1870	1860	1869	2116
25	2230	2545	2595		3022
50	2575	3110	3210		
100	2900	3740	3860	4311	4747
500	3700	5500	5360	6997	7530

Tabla 1. Ajuste de distribuciones frecuencias (caudales m³s⁻¹) usando datos históricos (1860-1913) y de aforos (1914-2014), comparados con los obtenidas por el SNCZI (MAPAMA) y Caumax CEDEX.

Table 1. Flood frequency distributions fitted to gauged record plus historical data, compared to the obtained by the SNCZI (MAPAMA) and Caumax CEDEX.

se incluyen datos del periodo histórico indicados al final del apartado 3.2 (1860-1913; Tabla 1).

En este trabajo se concluye que existe capacidad de mejora en los estudios de peligrosidad existentes. En futuros trabajos pretendemos continuar con la reconstrucción de los niveles y caudales de inundación de eventos anteriores al siglo XIX, con el convencimiento de que cualquier acción para la protección del patrimonio cultural requiere mejorar la evaluación de la peligrosidad y la vulnerabilidad de las inundaciones en el entorno del edificio.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Fundación Biodiversidad (MITEC) proyecto "Información regional sobre cambio climático y las inundaciones para la adaptación del diseño y análisis de seguridad de infraestructuras sensibles". Agradecemos a Iberdrola y a Yolanda Diego Martín por el acceso a documentos del Archivo Histórico de Ricobayo, y a Jose Angel Martinez Perez (Iberdrola) por su ayuda.

Bibliografía

Ballesteros Cánovas J.A., Stoffel, M.; Benito, G.; Rohrer M., Barriopedro, D., García-Herrera R., Beniston M., Brönnimann S. 2018. On the extraordinary winter flood episode over the North Atlantic Basin in 1936. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 10.1111/nyas.13911

Barriendos, M., Rodrigo, F.S. 2006. Study of historical flood events on Spanish rivers using documentary data. *Hydrological Sciences Journal*, 51, 765-783.

Fontana Tarrats, J.M., 1971-1977. Entre el cardo y la rosa. *Historia del clima de las Mesetas*, Madrid, 269pp.

Gutiérrez González, J.A. 1993. Orígenes y evolución urbana de Zamora. *Civitas*, 20 - 33.

Kagan, R.L. 1986. *Ciudades del Siglo de Oro. Las vistas españolas de Anton van der Wyngaede*. Madrid, El Viso, 432pp

Larrén, H. 1999. La evolución urbana de la ciudad de Zamora a través de los vestigios arqueológicos. *Codex aquilarensis*, 15, 91 - 118.

Machado, M.J., Medialdea, A., Barriendos, M. y Benito G., 2016. Hidroclimatología de las inundaciones históricas y paleocrecidas del río Duero en su tramo medio e internacional. XIV Reunión Nacional de Geomorfología, Publicación IGME N°5, 349-356.

Pardé, M. 1953. Sur la g n se et les caract res de plusieurs grandes inondations récentes. *Annales de Géographie*, 62, 18-36.

Pardé, M. 1955. *Fleuves et rivières*. A. Colin, Paris.

Rodríguez-Marquina, F.J. 1949. Crecidas extraordinarias del río Duero. Parte 1. *Revista de Obras Públicas*, 97, 202-213.