

APLICACIÓN DE LA BASE DE DATOS PALEORIADA A LA INCORPORACIÓN DE LA VARIABILIDAD POR EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL RIESGO DE INUNDACIONES EN ESPAÑA

Andrés Díez HERRERO¹, Kelly Patricia SANDOVAL RINCÓN¹, Daniel VÁZQUEZ TARRÍO¹, Ana LUCÍA¹ y María Ángeles PERUCHA ATIENZA¹

¹*Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Consejo Superior de Investigaciones Científicas CSIC). Ríos Rosas 23, 28003 Madrid*

andres.diez@igme.es, kp.sandoval@igme.es, d.vazqueztarrio@igme.es,
a.lucia@igme.es, ma.perucha@igme.es

RESUMEN

La evaluación preliminar del riesgo de inundación en España, en sus dos primeros ciclos sexenales de desarrollo, se ha basado únicamente en información histórica-documental y sistemática-instrumental. Para incorporar a esta evaluación la variabilidad asociada al cambio climático se hace necesario superar los sesgos consustanciales a estas fuentes información, e integrar de forma complementaria o alternativa la información paleohidrológica. La base de datos de paleoinundaciones en España, PaleoRiada, con cerca de 300 registros de eventos pretéritos de inundación publicados, por su amplia distribución espacial, temporal y temática permite mejorar sustancialmente esta incorporación de la variabilidad del cambio climático. Además, la creación de un visor cartográfico, de libre acceso a través de Internet, permite su utilización por parte de los gestores y técnicos de administraciones públicas, instituciones académicas, centros de investigación y del ámbito de las empresas de consultoría privada. Como demostración de esta utilidad se presentan tres ejemplos de aplicación a la modificación, prolongación y delimitación de áreas de riesgo potencial significativo de inundaciones.

Palabras clave: paleoinundación, base de datos, PaleoRiada, riesgo, inundación, evaluación.

ABSTRACT

The preliminary assessment of flood risk in Spain was based solely on historical-documentary and systematic-instrumental information during the first two six-year of its implementation. To include the variability associated with climate change in this assessment, it is necessary to overcome the biases inherent in these sources of information. Taking into account palaeo-hydrological information provides a complementary or alternative way of doing this. The database of paleofloods in Spain, PaleoRiada, with nearly 300 published records of past flood events, allows us to substantially improve the incorporation of climate change variability due to its wide spatial, temporal and thematic distribution. Furthermore, the creation of a cartographic viewer, freely accessible via the Internet, allows it to be used by managers and

technicians from public administrations, academic institutions, research centres and private consultancy firms. Three examples of application to the modification, extension and delimitation of new areas of significant potential flood risk are presented to illustrate the potential of this database.

Key words: paleoflood, database, PaleoRiada, risk, flood, assessment.

1. INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA

La Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI) del primer y segundo ciclos de desarrollo de la Directiva europea relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación (2007/60/CE) siguió en las demarcaciones hidrográficas españolas, para la definición de las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundaciones (ARPSIs), una metodología que sugería la recopilación de la información fácilmente disponible sobre: topografía y cartografía existente, geomorfología, información histórica, usos del suelo, red e infraestructuras hidráulicas, estudios de inundabilidad, cambio climático y planes especiales de protección civil (Sánchez et al., 2011).

La información histórica en los dos anteriores ciclos de EPRI se ha limitado a la recopilación de: datos del Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas (CNIH), consulta a la guardería fluvial, proyectos de obras y actuaciones de emergencia tras inundaciones, informes sobre eventos extremos y catastróficos, aforos de la Red Oficial de Estaciones de Aforo (ROEA) y Anuarios de Aforos, Sistemas Automáticos de Información Hidrológica (SAIHs) y otras redes instrumentales. A partir del análisis de esta información, fácilmente disponible, se pretendía la identificación de zonas aluviales y torrenciales, así como los principales episodios históricos, todo lo cual ayudase a la preselección de zonas de inundación potencial (ZIPs).

Sin embargo, el uso exclusivo de estas fuentes de información pretérita tiene una serie de limitaciones y sesgos cuando se trata de tener en consideración el cambio climático y global:

- Sesgo temporal: sólo considera eventos pretéritos de inundación de los últimos 2200 años (en el caso de las fuentes documentales históricas, desde la dominación romana) y con cierta fiabilidad de los últimos 100 años (con disponibilidad de aforos); por lo que obvia los cambios climáticos anteriores, de todo el Holoceno, donde se han sucedido periodos cálidos y secos (óptimo climático holoceno) y otros fríos y secos (boreal), donde la frecuencia y magnitud de las inundaciones era diferente a la actual.
- Sesgo espacial: sólo hay registro instrumental en cuencas y ríos monitorizados (con estaciones de aforo y además series largas) o registro documental con focos de producción de materiales impresos (únicamente villas y ciudades importantes con editoriales, imprentas y medios de comunicación).
- Sesgo documental: sólo hay registro de eventos en periodos con alta producción documental (último siglo y medio con la prensa diaria), mientras que en otros periodos no se conserva por escasa producción (periodo visigodo o islámico) o por haber sido destruida (guerras).

- Sesgo de percepción: el registro y relevancia de las inundaciones históricas es variable según comunidades humanas (rurales vs urbanas) y en función de los periodos históricos.
- Sesgo de magnitud: sólo se registran inundaciones históricas de magnitudes intermedias; ni se registran las catastróficas (fuera de rango de las estaciones de aforo y que generan reacción en el registro documental) ni las ordinarias (que apenas producen daños e inundación).

Por ello, la delimitación en la EPRI de las ZIPs usando únicamente información histórica documental puede conducir a una visión parcial y distorsionada de las verdaderas zonas de inundación potencial, sobre todo en condiciones de clima cambiante.

2. OBJETIVO: LAS PALEOINUNDACIONES COMO REGISTRO COMPLEMENTARIO Y ALTERNATIVO

Para paliar esos sesgos, especialmente el sesgo temporal (ampliando el rango hasta miles o decenas de miles de años, en los valores de periodos de retorno del reglamento de seguridad de presas) y espacial (para que cualquier sector del territorio, aforado o no, tenga registro de inundaciones pretéritas) hay que buscar otras fuentes de información que complementen o incluso sean una alternativa a las inundaciones históricas documentales e instrumentales.

Estas fuentes de información novedosas sobre inundaciones pretéritas, que sí que contemplan rangos temporales en los que se han registrado varios cambios climáticos (algunos análogos al calentamiento actual), hay que buscarlas en evidencias empíricas, reconocibles en la Naturaleza, de esos eventos de inundación pasados.

Las paleoinundaciones son eventos de inundación pretéritos (desde hace miles de años a la actualidad) cuya ocurrencia queda registrada en los elementos naturales de la gea (las rocas y sus relieves), la hidrosfera (el agua líquida, nieve o hielo) o la biota (seres vivos).

A partir del estudio de estos efectos naturales de las inundaciones pretéritas surgen los distintos tipos de registros de paleoinundación: geológico-geomorfológicos (sedimentos, marcas y formas), hidrológico-glaciológicos (nieve o hielo) y biológicos-botánicos (árboles y líquenes) (Fig.1; Díez Herrero et al., 2008).

Estos registros aumentan el rango temporal de la información sobre las inundaciones pretéritas en siglos, milenios e incluso decenas de milenios antes del presente; y permiten obtener información de la frecuencia y magnitud de inundaciones del pasado en lugares sin fuentes documentales ni cuencas aforadas. Así lo han entendido en los Estados Unidos de Norteamérica, donde es preceptivo su consulta y uso (Harden et al., 2021).

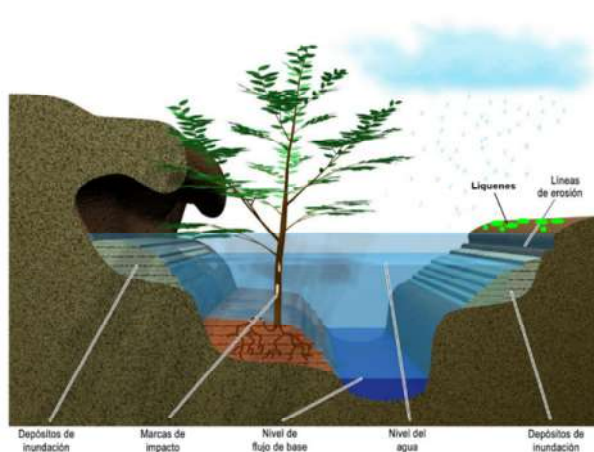


Fig. 1. Tipos de registros de paleoinundaciones (Díez Herrero et al., 2008)

3. METODOLOGÍA: EL REGISTRO DE PALEOINUNDACIONES PUBLICADO EN ESPAÑA

En España se han hecho estudios de paleoinundaciones registradas en elementos naturales desde hace décadas y, de hecho, en la década 1996-2005 se elaboraron dos bases de datos de registros de paleoinundaciones para la cuenca del Tajo (PaleoTagus) y para las cuencas internas de Cataluña (SPHERE-GIS).

Pero en las últimas tres décadas la investigación científica y desarrollo técnico en España han sido de tal magnitud (Jiménez Álvarez, 2021), que varios equipos de centros del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), fundamentalmente del Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN), Instituto Geológico y Minero de España (IGME) e Instituto de Geociencias (IGEO), y varias universidades españolas (UCM, UCLM, UAM, UJ...) y extranjeras (UBern), han publicado más de 126 textos científicos y técnicos: 117 artículos de revistas (sobre todo internacionales en inglés), 5 capítulos de libros y 4 informes técnicos.

3.1. PaleoRiada: la base de datos georrefenciada de paleoinundaciones publicadas en España

La Dirección General del Agua (DGA, MITERD), conocedora de la existencia de esta importante fuente de información útil para los organismos de cuenca durante la revisión del tercer ciclo de la EPRI, pero difícilmente accesible por encontrarse en publicaciones muy especializadas, en inglés y no fácilmente comprensible salvo para los expertos, encargó al Instituto Geológico y Minero (IGME, CSIC) que, en colaboración con el MNCN (a través de la Subvención de la DGA al CSIC para investigación), buscara todas esas publicaciones sobre paleoinundaciones en España, extrajera la información de interés técnico y elaborase una base de datos georreferenciada de utilidad para la comunidad técnica de gestores del agua (organismos de cuenca, empresas consultoras, autoridades de protección civil, etc.).

PaleoRiada (Diez Herrero, 2021; Diez Herrero et al., 2023; Sandoval Rincón et al., 2023) ha sido diseñada partiendo de un modelo conceptual que comprende tres grupos de entidades que describen las fuentes de información y características temáticas y espaciales de los registros de paleoinundaciones. Estos tres grupos son: (i) Entidades relacionadas de Datos Básicos (BDE); (ii) Entidades relacionadas Geoespaciales (GSE); y (iii) Entidades relacionadas con información Hidrológica (HIE).

PaleoRiada se estructura como una base de datos relacional compuesta de seis tablas, que contienen 40 variables de cada registro:

- Campos básicos del registro (2): Identificación numérica del registro; Nombre abreviado del registro.
- Campos de ubicación espacial de la evidencia (9): Comunidad o ciudad autónoma; Provincia; Municipio; Población o entidad menor; Demarcación hidrográfica; Masa de agua; Código Decimal de Ríos; Área de la cuenca de drenaje (km²) de la corriente fluvial o lago hasta el lugar de la evidencia; Otros datos de la ubicación espacial.
- Campos de caracterización tipológica de la evidencia (4): Tipología de la evidencia paleohidrológica (geológica, hídrica o biológica); Subtipo de la evidencia paleohidrológica (sedimentológica fluvial, sedimentológica lacustre, espeleotema, dendrogeomorfológica, liquenométrica, agua, nieve, hielo... Otro); Sub-subtipo de la evidencia paleohidrológica (depósitos de remanso, descortezado, láminas varvadas, liberación de anchura de anillos... Otro); Otros datos de la tipología de la evidencia.
- Campos de ubicación temporal de la evidencia (8): Tipo de edad (exacta, mínima, máxima, intervalo); Fecha calendario o edad en años antes del presente (BP, referido a 1950); Tipo de calendario de edad (AD, AC, BP), Límite superior del rango de edad, en fecha calendario o en años antes del presente (BP, referido a 1950); Límite inferior del rango de edad, en fecha calendario o en años antes del presente (BP, referido a 1950); Método de datación (arqueológico, documental, radiocarbono, luminiscencia, cosmogénicos, dendrocronológico...); Incertidumbre de la datación; Otros datos de la ubicación temporal de la evidencia.
- Campos de interpretación hidrológica-hidráulica de la evidencia (13): Altitud absoluta del paleonivel alcanzado por la lámina de agua (m s.n.m.); Profundidad o calado de la lámina de agua (m); Velocidad alcanzada por el flujo (m/s); Tipo de dato de caudal: exacto, mínimo, máximo, intervalo; Caudal estimado (m³/s); Límite superior del rango de caudales (m³/s); Límite inferior del rango de caudales (m³/s); Método de estimación del caudal (ecuación de Manning, modelización hidráulica 1D, modelización hidráulica 2D...); Incertidumbre de la estimación del caudal; Tipología del flujo (aguas claras, flujo de derrubios, hiperconcentrado, sin definir), Tipología de la inundación (crecida, avenida súbita), Precipitación umbral (mm en un día), Otros datos de la interpretación hidrológica.
- Campos de información publicada de la evidencia (4): Listado de referencias bibliográficas de trabajos publicados sobre la evidencia; Autor/es de los trabajos y filiación actualizada de los mismos; Año de la primera publicación sobre la evidencia; Otros datos de la publicación de la evidencia.

Está conectada con dos capas vectoriales de polígonos y puntos en formato *shapefile* (ArcGIS ESRI) que permite tanto representarla en un visor espacial web como hacer búsquedas temáticas como espaciales.

3.2. Los registros de PaleoRiada en la actualidad

En la actualidad (a fecha de octubre de 2024) la base de datos PaleoRiada tiene implementado un total de 299 registros de paleoinundaciones publicados sobre el territorio español, que se distribuyen espacio-temporalmente y temáticamente según ha sido analizado por Sandoval Rincón et al. (2023; Figs. 2).

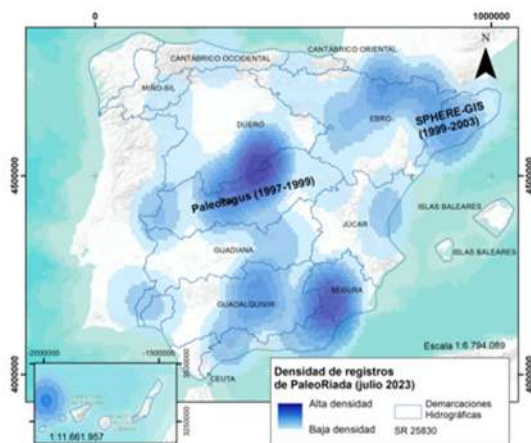


Fig 2. Distribución espacial de la densidad de los registros en la base de datos PaleoRiada (Sandoval Rincón et al., 2023).

3.3. El visor cartográfico de PaleoRiada

Para facilitar la consulta y uso de la base de datos georreferenciada, el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC) ha puesto a disposición de los organismos de cuenca y empresas consultoras un visor cartográfico soportado en la aplicación ArcGIS online, que permite la consulta y análisis de la información de todas las tablas y registros simplemente con una conexión a Internet, sin necesidad de disponer de licencia de dicha aplicación. Además, su uso con menús de capas y persianas desplegables de los registros (Fig. 3) es muy intuitivo y común a cualquier otro visor cartográfico, como el del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI).

Para ello basta con poner en el navegador la siguiente dirección URL:

<https://sgaicisic.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=047e3ddb46354f5785e59ff06c2cd5eb>

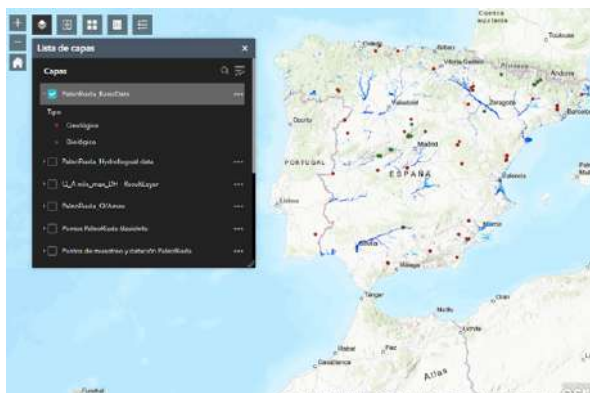


Fig. 3. Ejemplo de la visualización de la base de datos Paleoriada aplicación ArcGIS online.

Igualmente se ha creado una página web-blog en la que se actualizarán las novedades de nuevos registros, funcionalidades de la base de datos o publicaciones divulgativas de su uso y aplicación: www.inundacion.es/paleoriada/

4. RESULTADOS: APLICACIÓN DE PALEORIADA A LA REVISIÓN DE LA EPRI EN EL 3º CICLO

Sin ánimo de interferir en el proceso de revisión y actualización de la EPRI del tercer ciclo, que corresponde únicamente a los organismos de cuenca (y sus empresas adjudicatarias y asesoras), pero sí de ayudar a interpretar cómo la información de la base de datos Paleoriada puede ser útil en la redefinición de las ZIPs y con ello de las ARPSIs, se exponen a continuación tres sencillos ejemplos de consulta de la base de datos en relación con las ARPSIs previamente delimitadas en el primer y segundo ciclo:

4.1. Modificación de una ZIP-ARPSI por existencia de datos de paleoinundaciones

En la demarcación hidrográfica del Guadalquivir, en el río Verde o Guadix a su paso por la localidad de Guadix (Granada), se encuentra una ARPSI delimitada por criterios históricos de la inundación de 1973 (puesto que no hay datos de aforo ni datos documentales anteriores). Tras consultar la base de datos Paleoriada se puede apreciar que, a unos centenares de metros en la orilla izquierda de la ARPSI, hay dos registros de paleoinundaciones (Díez-Herrero et al., 2024): una de edad romana (siglo I d.C.) y otra de edad almohade (siglo XII d.C.), dos periodos cálidos análogos al calentamiento actual. Ambos registros quedan en la cartografía actual fuera de la zona inundable con periodo de retorno de 500 años del río Verde o Guadix, porque en realidad esos eventos fueron producidos por un afluente de éste, la rambla de Almorejo o San Miguel, en la que se propone que se modifique la ARPSI, de igual manera que se han cartografiado otras ramblas afluentes próximas.

4.2. Prolongación de una ZIP-ARPSI por existencia de datos de paleoinundaciones

En la demarcación hidrográfica del Duero, en el río Eresma a su paso por la ciudad de Segovia, se encuentra una ARPSI delimitada por criterios históricos de inundaciones de edificios monumentales (Real Casa de Moneda de Segovia) y otros edificios residenciales en los barrios de San Lorenzo y San Marcos. Tras consultar la base de datos PaleoRiada se puede apreciar que unos centenares de metros aguas abajo del límite inferior del tramo ARPSI se encuentran dos registros de paleoinundaciones pleistocenas (con edades de cerca 40.000 años), correspondientes a periodos interglaciales y con caudales que cuadriplican los máximos caudales registrados en los aforos; además de que se encuentra un azud histórico y un edificio declarado BIC (Molino de los Señores), que aconsejan la prolongación aguas abajo de la ARPSI, incorporando esta información hidrológica y así incorporar los cambios climáticos del Pleistoceno superior-Holoceno.

4.3. Delimitación de una nueva ZIP-ARPSI por la existencia de datos de paleoinundaciones

En la demarcación hidrográfica del Tajo, en el arroyo Cabrera, afluente torrencial del río Alberche por su margen derecha en la cola del embalse del Burguillo (Navalunga, Ávila), dentro del paraje de Venero Claro se encuentran numerosos registros de paleoinundaciones en un tramo que tiene informaciones torrenciales pretéritas, algunas de las cuales afectaron a instalaciones ganaderas y una colonia infantil de veraneo con numerosos elementos expuestos y vulnerables. Se propondría delimitar una nueva ARPSI para este tramo del arroyo hasta su desembocadura al río Alberche.

5. DISCUSIÓN: INCLUSIÓN DE PALEORIADA EN LA REVISIÓN DE LA EPRI DEL TERCER CICLO (2024) DE LAS DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS

De acuerdo con la Directiva 2007/60/CE, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación; y con el Real Decreto 903/2010 de evaluación y gestión de riesgos de inundación, la Evaluación preliminar del riesgo de inundación (EPRI) se elaboró por primera vez en 2011, debiendo revisarse por primera vez en 2018 y, posteriormente, cada 6 años. Por lo tanto, la revisión de la EPRI para el tercer ciclo de implantación de la Directiva de Inundaciones debía realizarse en el año 2024.

Según Anuncio de la Dirección General del Agua, de fecha 2 de septiembre de 2024, se inició el periodo de consulta pública de la revisión y actualización de la evaluación preliminar del riesgo de inundación de las demarcaciones hidrográficas intercomunitarias. El periodo de consulta pública finalizó el día 2 de diciembre de 2024. Toda la documentación se encuentra en la web: <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/evaluacion-preliminar-riesgos-inundacion/revision-epri-2024.html>

La mayor parte de las Memorias de revisión de las EPRI de las demarcaciones hidrográficas, sobre todo las intercomunitarias (pero también las intracomunitarias, como Galicia Costa), han incluido como mejora en la delimitación de las ARPSIs la

consulta y análisis de la base de datos PaleoRiada. Incluso alguna de las demarcaciones, como las cuencas del Tajo, Cantábrico Occidental o el Guadalquivir, hacen una recopilación pormenorizada de los registros de PaleoRiada en su demarcación (77, 5 y 5, respectivamente), analizando en detalle si son suficiente criterio para prolongar, ampliar o crear nuevas ARPSIs.

6. CONCLUSIÓN

La inclusión de información paleohidrológica de la base de datos PaleoRiada en el proceso de la evaluación preliminar del riesgo de inundaciones a partir del tercer ciclo permitirá una mejora en la incorporación de la variabilidad asociada al cambio climático. Por ello, las diferentes demarcaciones hidrográficas españolas lo han incluido en sus memorias de evaluación preliminar y esperamos que sea de utilidad en la generación de los estudios y cartografías de peligrosidad y riesgo de inundación en España.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación está financiada por las subvenciones 2022-2023 y 2023-2026 firmadas entre la DGA-MITERD y el CSIC, en la que se incluyen las actuaciones 20223TE003 y 20233TE012 (proyecto Tarquín del IGME-CSIC). La participación de una de las autoras ha sido posible gracias a la concesión de la ayuda para la contratación de personal investigador predoctoral en formación PIPF-2022/ECO-24879, financiada por la Comunidad de Madrid. Los autores desean agradecer al resto de los miembros del proyecto Tarquín y a los colaboradores de PaleoRiada, su apoyo y ayuda en el desarrollo de la base de datos.

REFERENCIAS

- Díez Herrero, A. (2021). La dendrogeomorfología como fuente de datos de la frecuencia y magnitud de caudales históricos. En: A. Jiménez Álvarez (Coord.), *Paleocreencias y avenidas históricas y su aplicación a la seguridad hidrológica de las presas*, *Monografías CEDEX*, M-143 (Capítulo 3, pp. 65-96). Madrid: Centro de Estudios Hidrográficos, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), Servicio de Publicaciones, 224 pp.
- Díez-Herrero, A., Lain-Huerta, L. y Llorente-Isidro, M. (2008). *Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía metodológica para su elaboración*. Madrid: Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Serie Riesgos Geológicos/Geotecnia nº 1, 190 págs.
- Díez Herrero, A., Sandoval Rincón, K.P., López Vinielles, J., Cervel De Arcos, S., Hernández Manchado, J.R., Benito Ferrández, G., Ballesteros Cánovas, J.A., Mateos Ruiz, R.M. (2023). PaleoRiada: la base de datos georreferenciada de las paleoinundaciones en España, para la gestión del espacio fluvial. IV Congreso Ibérico de Restauración Fluvial (RestauraRíos 2023), Toledo 20 a 23 de junio de 2023. Presentación modalidad póster, P3-01. Libro de resúmenes, p. 232.

- Díez-Herrero, A.; Mateos, R.M.; Vázquez-Tarrío, D.; López-Marcos, A.; Brao-González, F.J. (2024). One catastrophic flood every millennium: Synchronicity of extreme floods and global warm periods in the multi-archive record of the Roman theatre of Guadix (Granada, SE Spain). *Global and Planetary Change*, 233 (2024) 104363, 18 pp. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2024.104363>
- Harden, T.M., Ryberg, K.R., O'Connor, J.E., Friedman, J.M., and Kiang, J.E. (2021). *Historical and paleoflood analyses for probabilistic flood-hazard assessments—Approaches and review guidelines*. U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 4, chap. B6, 91 p., <https://doi.org/10.3133/tm4B6>.
- Jiménez Álvarez, A. (Coord.; 2021). *Paleocreencias y avenidas históricas y su aplicación a la seguridad hidrológica de las presas*. Monografías CEDEX, M-143, Madrid, 224 pp.
- Sánchez, F.J. y Lastra, J. (Coords.).(2011). Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, 349 pp.
- Sandoval, K.P., Díez Herrero, A., López Vinielles, J., Mateos, R.M., Benito, G., Ballesteros-Cánovas, J.A., Cervel, S., Hernández Manchado, R. (2023). Análisis preliminar tipológico, temporal y espacial de los registros publicados sobre paleoinundaciones en España. En: G. Desir, E. Nadal y D. Regües (Eds.). Libro actas de la XVI Reunión Nacional de Geomorfología, Sociedad Española de Geomorfología, pp. 60-61.