

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/334279289>

El proyecto DRAINAGE: restaurando las llanuras de inundación como infraestructuras verdes frente a los riesgos de inundación

Conference Paper · June 2019

CITATIONS

0

READS

105

5 authors, including:



Fernando Magdaleno

Ministry for the Ecological Transition & Technical University of Madrid (Spain)

75 PUBLICATIONS 346 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Francisco Cortés

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas

7 PUBLICATIONS 15 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Andres Díez-Herrero

Instituto Geológico y Minero de España

328 PUBLICATIONS 3,262 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



J. M. Bodoque

University of Castilla-La Mancha

173 PUBLICATIONS 2,023 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

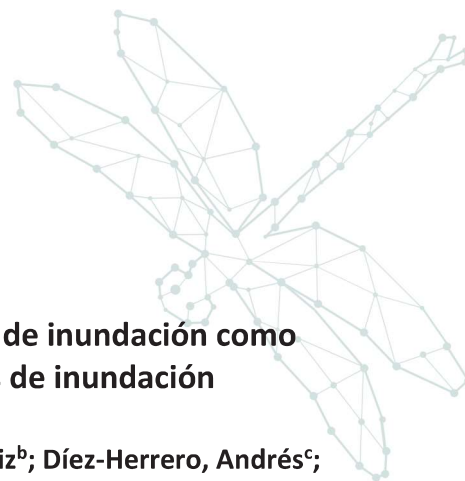
Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



ATTENAGUA [View project](#)



Estudio científico-técnico de las inundaciones en el Pla de Sant Jordi, Palma de Mallorca, Illes Balears, España [View project](#)



El proyecto DRAINAGE: restaurando las llanuras de inundación como infraestructuras verdes frente a los riesgos de inundación

Magdaleno, Fernando^{a*}; Cortés, Francisco^b; Molina, Beatriz^b; Díez-Herrero, Andrés^c; Bodoque, José María^d

^aDirección General del Agua. Ministerio para la Transición Ecológica. Plaza San Juan de la Cruz, s/n. 28071 Madrid.

^bCentro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Alfonso XII, 3. 28014 Madrid.

^cInstituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas 23, 28003 Madrid

^dFacultad de Ciencias Ambientales y Bioquímica. Universidad de Castilla-La Mancha. Campus Fábrica de Armas. Avda. Carlos III s/n. 45071 Toledo.

*Autor para contacto: fmagdaleno@miteco.es

Resumen

Los nuevos paradigmas legales, científicos, técnicos y sociales exigen la adopción de esquemas de gestión integral y de planificación territorial en las zonas inundables, capaces de integrar las exigencias de la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE), la Directiva de Inundaciones (2007/60/CE), y la Directiva Hábitats (92/43/CEE). Bajo este esquema conceptual, se ofrece una propuesta metodológica que tiene como objetivo el incremento de la resiliencia de las zonas urbanas y rurales ante el fenómeno de las inundaciones, de manera compatible con la mejora en el estado de las masas de agua y con el incremento de sus funciones y servicios ambientales. El ámbito de estudio para el desarrollo de esta propuesta se sitúa en la cuenca del Duero, concretamente en el tramo del río Duero comprendido entre las localidades de Toro y Zamora. Para ello, se aplican metodologías innovadoras que permiten un análisis fiable del riesgo basado en la caracterización de todos los procesos implicados, así como en la evaluación de la incertidumbre y su propagación. Para reducir la vulnerabilidad y mejorar la capacidad de adaptación, se proponen medidas de gestión centradas en la implementación de infraestructuras verdes y azules, a través de la recuperación de la capacidad eco-geomorfológica de las llanuras de inundación para laminar las inundaciones, retener agua y sedimentos, y proporcionar múltiples servicios ambientales.

Palabras clave: medidas naturales de retención del agua, crecidas, Duero, hábitats

Abstract

The present legal, scientific, technical and social paradigms require the adoption of new approaches to the integrated management and the territorial planning of flood-prone areas. These new trends should allow the combination of the requirements of the Water Framework Directive (2000/60/EC), the Floods Directive (2007/60/EC) and the Habitats Directive (92/43/EEC). Under this conceptual context, a methodological proposal is presented in this document aimed at incrementing the resilience of urban and rural areas when dealing with river flooding, along with the improvement of the status of water bodies and the increase of their environmental functions and benefits. This proposal is being developed in the Douro basin, and more specifically in the river sector between the cities of Toro and Zamora. With that target, advanced procedures are designed and applied to enhance a feasible analysis of risks, based on the characterization of all involved processes, and in the assessment of their uncertainty and propagation. To reduce vulnerability and provide higher adaptability, managerial measures are proposed, sustained on the restoration of the eco-geomorphic ability of floodplains to abate flood peaks, retain water and sediments, and provide multiple ecosystem services.

Keywords: natural water retention measures, floods, Douro, habitats

1. Introducción

Históricamente, la gestión del riesgo por inundaciones fluviales se ha basado en el desarrollo de aproximaciones fragmentadas, principalmente basadas en análisis parciales de la peligrosidad, en tanto en cuanto únicamente se

consideraba la extensión del área inundable; y en las que se obviaban otros factores importantes tales como la velocidad del agua o la carga de sedimentos (Hall *et al.*, 2003), y en las que la mitigación de los riesgos estaba fundamentada en el diseño de medidas estructurales (p.ej. canalizaciones, motas, embalses de laminación) (Merz *et al.*, 2010). Con ellas, se pretendía garantizar la protección total de la población expuesta ante la ocurrencia de inundaciones, pero sin tener en cuenta el impacto medioambiental de dichas medidas, o su efecto aguas abajo en términos de incremento de la peligrosidad y del riesgo, y de alteración de la dinámica fluvial.

En los últimos años se está produciendo un cambio de paradigma hacia un enfoque de gestión integrada del riesgo, pues la adopción de soluciones estrictamente estructurales no es sostenible desde un punto de vista hidrológico ni ambiental, pero, además, tampoco es garantía de protección total (Hooijer *et al.*, 2004). Así, medidas de mitigación del riesgo como las motas, suelen conducir a la pérdida de conexión lateral entre los ríos y su llanura de inundación, conllevando la pérdida de buena parte de los servicios ecosistémicos ligados al medio fluvial. Este tipo de medidas también tienen potencial para incrementar los daños aguas abajo por los cambios que genera en el funcionamiento hidrogeomorfológico y ecológico del río, o incluso *in situ*, en caso de que las medidas fallen o se vean superadas.

Asimismo, no son garantía absoluta de la mitigación del riesgo debido a que en su diseño frecuentemente no se han tenido en cuenta los efectos a futuro del cambio climático, ni el análisis de la incertidumbre o su propagación entre los distintos componentes que la integran (Vis *et al.*, 2003). Por otro lado, esta estrategia de gestión genera una falsa sensación de seguridad entre la población, al darse por hecho que la protección frente a las inundaciones es total. Otra razón que explica el cambio de modelo es la falta de inclusión de la dimensión social, lo cual ha determinado que, con más frecuencia de la deseada, los planes de gestión hayan resultado fallidos.

Por tanto, la gestión del riesgo está abandonando el principio de protección absoluta, comenzándose a promover en su lugar estrategias más proactivas, que se fundamentan en la gestión integral del riesgo. En este contexto, el concepto de resiliencia proporciona un marco práctico que facilita que los planes de gestión identifiquen medidas tangibles capaces de reducir la vulnerabilidad y que, de resultados de ello, se mejore la gestión del riesgo (Bodoque *et al.*, 2016). En los últimos tiempos este concepto ha ganado peso, gracias a iniciativas de las Naciones Unidas como el Marco de Acción de Hyogo (operativo durante el periodo 2005-2015) y del actualmente vigente Marco de Sendai, que se desarrollará durante el periodo 2015-2030. Con estos programas, se pretende reducir el riesgo en base a aumentar el conocimiento de todas las dimensiones sociales implicadas: percepción social, nivel de conocimiento de la población en relación con el riesgo y su gestión, exposición, vulnerabilidad social y económica (Vink *et al.*, 2013).

2. Metodología

El proyecto DRAINAGE (cuyo plazo de ejecución comprende desde 2018 hasta 2020) se articula a través de un enfoque de investigación cuya hipótesis principal es que sólo a través de la recuperación de la conectividad hidráulica entre el río y su llanura aluvial, especialmente en los tramos medios y bajos de los ríos, se podrá mantener la funcionalidad fluvial y gestionar sus riesgos permitiendo cumplir con los objetivos planteados en la Directiva Marco del Agua, DMA (Directiva 2000/60/CE), en la Directiva Europea relativa a la evaluación y gestión de los riesgos por inundación (Directiva 2007/60/CE), y en la Directiva Hábitats (92/43/CEE) (Figura 1). El enfoque holístico planteado en el proyecto se plasma mediante la comprobación de las siguientes hipótesis, para cada una de las cuales se indica el método de análisis que se está desarrollando:

- H1. El restablecimiento de la conectividad hidráulica, hidrológica, geomorfológica y ecológica río-llanura de inundación y, en consecuencia, la recuperación del óptimo de la capacidad de laminación del sistema fluvial permite reducir el riesgo por inundación. Para ello, se realizarán exhaustivos estudios de la peligrosidad y del riesgo basados en: i) la caracterización hidrológica de los eventos de avenida y crecida en el tramo fluvial de estudio y su cuenca hidrográfica; ii) la modelación hidrodinámica 2D para estimar los parámetros relacionados con la peligrosidad por inundaciones; iii) el diseño de curvas calado-daño específicas para las zonas urbanas; iv) el análisis de la incertidumbre y de su propagación.
- H2. La recuperación de la conectividad hidráulica, hidrológica, geomorfológica y ecológica entre el río y la llanura de inundación implica una mejora en la calidad ambiental de las masas de agua, de acuerdo con los criterios establecidos en la DMA y en la Directiva Hábitats. Para ello, se abordará: i) el análisis del estado hidromorfológico de las masas de agua, de acuerdo con los estándares europeos y españoles; ii) el análisis del estado físico-químico de las masas de agua a partir de los datos disponibles (p.ej. red SAICA); iii) el análisis del estado biológico de las masas de agua a partir de la información contenida en las series temporales oficiales



- de datos biológicos.
- H3. El restablecimiento de la conectividad hidráulica, hidrológica, geomorfológica y ecológica río-llanura de inundación permite la recuperación o mejora de los servicios ecosistémicos del medio fluvial. Como resultado, se facilita la puesta en práctica de políticas de gestión sostenible de los recursos hídricos. Para ello, se acometerá: i) el diseño de una infraestructura verde conforme a la restauración de la condición geomorfológica de referencia y la caracterización batimétrica del tramo de río a estudiar; ii) la caracterización y valoración de los servicios ecosistémicos; iii) el análisis coste-beneficio de la infraestructura verde planteada desde una perspectiva, tanto económica como ambiental.
 - H4. La población asentada en áreas propensas a sufrir inundaciones tiene una baja percepción en relación al riesgo, a la vez que fundamentada en falsas creencias acerca de las mejores prácticas de gestión a aplicar para reducir el riesgo y que éstas sean sostenibles desde el punto de vista ambiental. Se realizará una investigación con metodología correlacional que incluya: i) análisis de la percepción del riesgo de inundación en las poblaciones afectadas; ii) estudio de las creencias sobre la gestión del riesgo a través de grupos de discusión; iii) contraste de las creencias sobre gestión del riesgo de la población con las derivadas de las Directivas Europeas de Inundaciones y del Agua.
 - H5. La resiliencia ante inundaciones se puede evaluar cuantitativamente integrando las dimensiones (física, socioeconómica y ambiental) vinculadas con la gestión integrada del riesgo por inundaciones. Para ello, se evaluará cuantitativamente la resiliencia a partir de la definición de un índice, que incorpore todas las dimensiones implicadas en la gestión del riesgo por inundaciones.

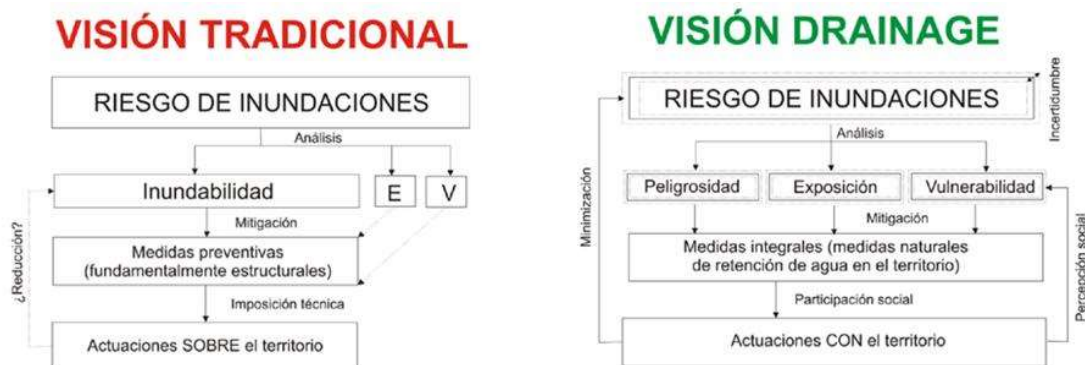


Figura 1. Esquemas comparativos de la concepción tradicional del análisis y gestión del riesgo por inundaciones, frente a la visión integrada propuesta por DRAINAGE.

El objetivo principal del proyecto DRAINAGE es, sobre la base de todo lo anteriormente expuesto, la mejora de la resiliencia de las zonas urbanas y periurbanas ante inundaciones, a través del diseño de estrategias de mitigación del riesgo fundamentadas en el uso de infraestructuras verdes que, además, sean compatibles con un buen estado de calidad de las masas de agua y con la gestión sostenible de los recursos hídricos. Asimismo, se pretende implicar a la población afectada, favoreciendo un cambio de actitudes hacia una gestión óptima del riesgo de inundación y de prácticas ambientalmente sostenibles.

El análisis y gestión integrada del riesgo por inundaciones requiere del diseño y puesta en práctica de aproximaciones metodológicas transdisciplinares, que tengan en cuenta las dimensiones implicadas (físicas, socio-económicas y ambientales). Para poder aplicar con éxito este enfoque interdisciplinar, el proyecto DRAINAGE se sustenta en tres pilares:

- i. Capacidad demostrativa del proyecto. Para ello, se requiere de la selección de un área de estudio que permita poner en práctica, probar y evaluar la aproximación metodológica propuesta en DRAINAGE, de manera que pueda ser replicada en otros contextos geográficos, ecológicos y socioeconómicos similares a los aquí propuestos. En concreto, se ha seleccionado el tramo del río Duero comprendido entre los municipios de Toro y Zamora, dado que reúne las características idóneas para abordar los objetivos planteados en el proyecto. Este tramo presenta un trazado claramente meandriforme, lo cual confiere a su llanura de inundación una alta capacidad para laminar crecidas.

Asimismo, es lo suficientemente largo (63 km) como para demostrar que esta capacidad de laminación es suficiente para reducir el riesgo. También tiene numerosas motas a lo largo de su curso, lo cual implica que ha perdido buena parte de la conectividad lateral con su llanura de inundación. Por último, el tramo presenta varias zonas ARPSIs (Áreas con Riesgo Potencial Significativo de Inundación) y forma parte de la Red Natura 2000: ZEC "Riberas del Río Duero y Afluentes" (Código ES4170083) (Figura 2). De forma complementaria, se ensayarán otras metodologías en otros ámbitos del territorio con características o problemáticas distintas al área de estudio. En concreto, también se estudiarán: zonas montañosas (cuenca de Venero Claro, Ávila); pequeños núcleos de población del piedemonte de la Sierra de Guadarrama (Pajares de Pedraza, Segovia); y ramblas mediterráneas (Barranco de Carraixet, Rambla del Pollo, Rambla de Castellana, Rambla de Gallinera y Río Vernissa, Valencia), con objeto de contrastar las metodologías en otros ámbitos geográficos y problemáticas distintas a la de la zona piloto principal.

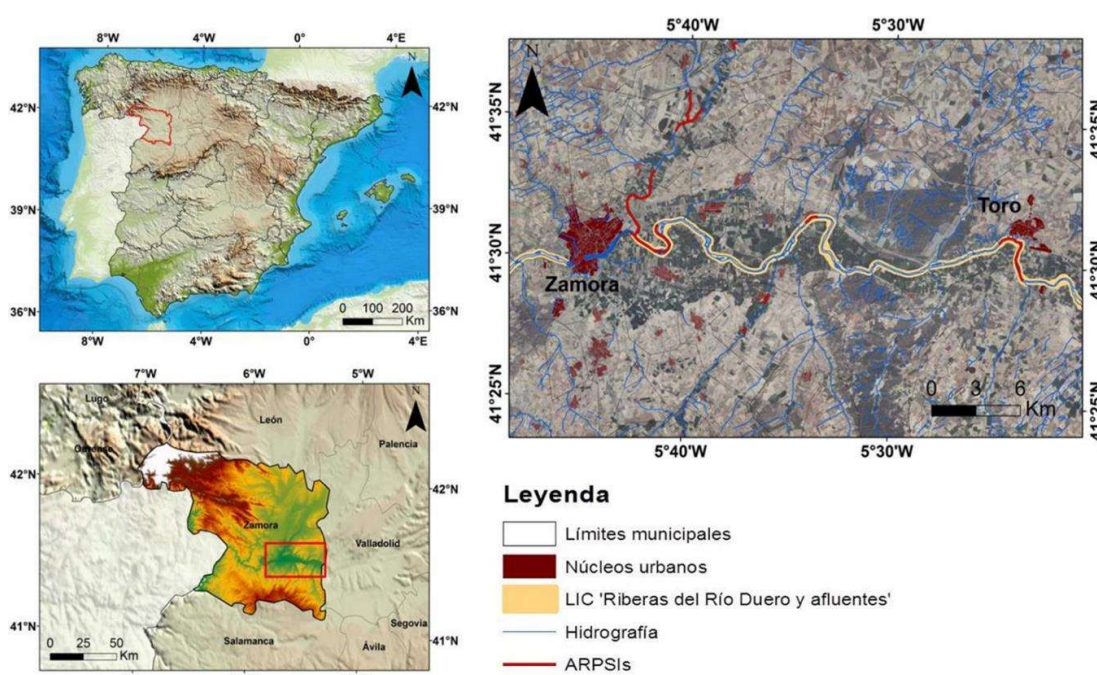


Figura 2. Localización del ámbito de estudio, con indicación de la ubicación de los límites municipales, núcleos urbanos, espacios de la Red Natura2000, y Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundaciones (ARPSIs).

- ii. Apoyo de Entes Promotores Observadores (EPOs). Un proyecto como DRAINAGE, uno de cuyos objetivos pretende hacer compatible el desarrollo de la Directiva Europea de Inundaciones con los objetivos fundamentales de la Directiva Marco del Agua, así como con los establecidos en el Marco de Sendai para la reducción de riesgos por desastres, requiere que haya organismos públicos y empresas interesadas en los resultados del proyecto. El proyecto DRAINAGE cuenta con el interés y colaboración de los organismos públicos responsables de la puesta en práctica de las dos Directivas y del Marco de Sendai: i) Dirección General del Agua, DGA (Ministerio para la Transición Ecológica, MITECO); ii) Confederación Hidrográfica del Duero; iii) Agencia de Protección Civil de la Junta de Castilla y León; y iv) Dirección General de Patrimonio Cultural (Junta de Castilla y León). Asimismo, el proyecto cuenta con el apoyo de las consultoras INCLAM S.A y AQUATEC, S.A.U.

Enfoque interdisciplinar. En el proyecto DRAINAGE participan investigadores adscritos a la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), Instituto Geológico y Minero (IGME), Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Universitat Politècnica de València (UPV), Universidad de Valencia (UV), Universidad de Alicante (UA), Universidad de Valladolid (UVA), Universidad Complutense de Madrid (UCM), Universidad Autónoma de Madrid (UAM), Dirección General de Protección Civil y Emergencias (DGPCE).



3. Resultados: aplicación de las infraestructuras verdes y azules a la reducción del riesgo de inundación en el río Duero

La Comisión Europea (EC, 2014) considera que la infraestructura verde comprende una “red estratégicamente planificada de zonas naturales y seminaturales de alta calidad con otros elementos medioambientales, diseñada y gestionada para proporcionar un amplio abanico de servicios ecosistémicos y proteger la biodiversidad tanto de los asentamientos rurales como urbanos”. En la misma Comunicación, se señala que, “al tratarse de una estructura espacial que genera beneficios de la naturaleza a las personas, la infraestructura verde tiene como objetivo mejorar la capacidad de la naturaleza para facilitar bienes y servicios ecosistémicos múltiples y valiosos, tales como agua o aire limpios”. Nauman *et al.* (2011) aportan algunos detalles adicionales a la definición dada por la Comisión Europea para las infraestructuras verdes. Por ejemplo, el hecho de que pueden incorporar tanto zonas rurales como urbanas, y tener carácter terrestre o acuático (incluyendo aguas continentales, costeras y marinas). Bajo esta definición, podrían formar parte de las infraestructuras verdes un amplio espectro de elementos, tales como parques, zonas forestales, setos, ríos, humedales, y zonas marinas, e incluso de estructuras netamente artificiales, como ecoductos, cubiertas verdes, escalas para peces o vías para bicicletas.

Por su parte, las infraestructuras azules constituyen elementos intrínsecamente relacionados con las infraestructuras verdes, en los que las componentes o procesos relacionados con el agua cuentan con una especial relevancia para entender su funcionamiento y los servicios que aportan (Magdaleno *et al.*, 2018). El redescubrimiento de las infraestructuras azules se ha producido paralelamente a la identificación del suministro, eficiencia y gestión del agua como aspectos cruciales para luchar contra los efectos del cambio climático y de la inequidad social y ambiental (Figura 3). Una planificación y gestión adecuada del agua y de sus ecosistemas asociados resulta imprescindible para la mejora integrada de los procesos territoriales; no sólo por las cuestiones ligadas al recurso (dotación y tratamiento del agua, producción alimenticia, recarga de acuíferos o control de inundaciones), sino también por sus efectos psicológicos y emocionales en los ciudadanos (ARUP, 2011).

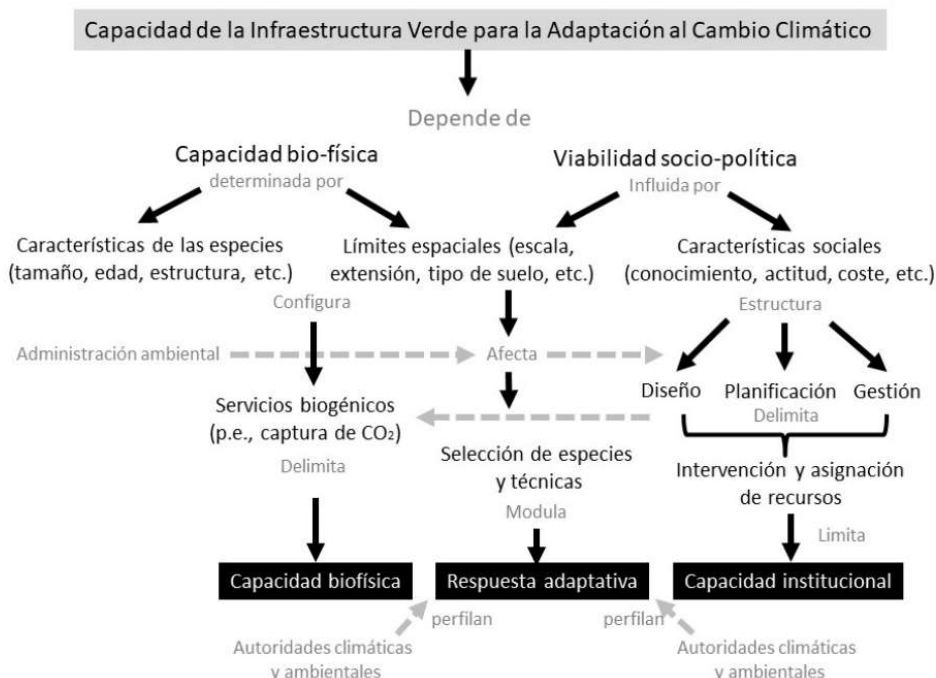


Figura 3. Capacidad de las infraestructuras verdes y azules para contribuir a la adaptación frente al cambio climático (Adaptado de: Matthews *et al.*, 2015).

En el ámbito de estudio, y con objeto de dar respuesta a los objetivos del proyecto, se plantea el desarrollo de diversos escenarios de actuación relacionados con la adopción de medidas de retención del agua y de infraestructuras verdes y azules. Dicha selección se realizará a partir del conocimiento existente en esta materia, y que ha sido compilado en

#Restaurarios2019

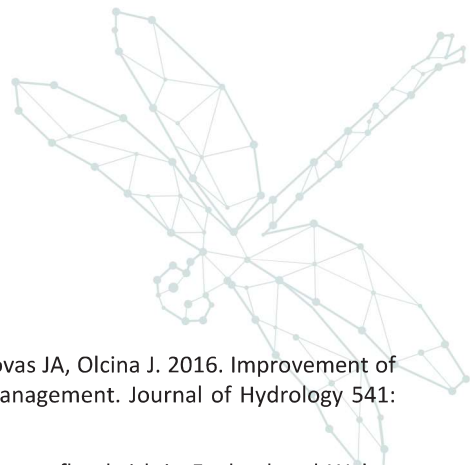
diversas publicaciones y proyectos europeos (Magdaleno, 2017). En la figura 4 se ofrece un ejemplo de los tipos de acciones que se considerarán durante el diseño de las actuaciones, muchas de las cuales ya han sido utilizadas en las demarcaciones hidrográficas españolas.

Medidas agrícolas		Medidas urbanas		Medidas hidromorfológicas		Medidas forestales	
A1	Praderas y pastizales	U1	Cubiertas verdes	N1	Charcas y lagunas	F1	Franjas vegetales ribereñas
A2	Franjas vegetales y setos	U2	Recogida de aguas pluviales	N2	Restauración y gestión de humedales	F2	Mantenimiento de cubierta forestal en cabeceras
A3	Rotación de cultivos	U3	Superficies permeables	N3	Restauración y gestión de llanuras de inundación	F3	Reforestación de cuencas de embalse
A4	Cultivo según curvas de nivel	U4	Cunetas verdes	N4	Re-meandro	F4	Plantaciones diseñadas para la captación de lluvia
A5	Cultivos intercalares	U5	Canales de drenaje y retención	N5	Renaturalización de lecho de cauce	F5	Cambios de uso de suelo
A6	Agricultura sin labranza	U6	Franjas filtrantes	N6	Restauración y reconexión de cauces estacionales	F6	Mantenimiento de cubiertas forestales continuas
A7	Agricultura con labranza limitada	U7	Pozos de infiltración	N7	Reconexión de meandros abandonados y elementos similares	F7	Control a la circulación de vehículos
A8	Cubiertas vegetales	U8	Zanjas de infiltración	N8	Renaturalización de los materiales del cauce	F8	Diseño apropiado de drenajes de carreteras y vías
A9	Cosecha temprana	U9	Jardines de lluvia	N9	Eliminación de presas y otras barreras longitudinales	F9	Estanques de captura de sedimentos
A10	Aterrazado tradicional	U10	Estanques secos	N10	Estabilización natural de riberas	F10	Mantenimiento de madera muerta
A11	Control del tráfico de maquinaria	U11	Estanques de retención	N11	Eliminación de defensas de márgenes	F11	Parques forestales urbanos
A12	Densidad reducida de ganado	U12	Estanques de infiltración	N12	Restauración de lagos	F12	Árboles en áreas urbanas
A13	Acolchado			N13	Restauración de la infiltración natural	F13	Estanques de laminación en áreas forestales
				N14	Re-naturalización de polders	F14	Pequeños diques de retención de sedimentos en áreas forestales

Figura 4. Medidas naturales de retención de agua y acciones vinculadas al desarrollo de infraestructuras verdes, y recogidas en el proyecto piloto "Atmospheric Precipitation - Protection and efficient use of Fresh Water: Integration of Natural Water Retention Measures in River basin management" y categorizadas según su carácter esencialmente agrícola, urbano, hidromorfológico o forestal (Magdaleno & Delacámara, 2015). En el proyecto DRAINAGE se atenderá, fundamentalmente, a las de carácter hidromorfológico y forestal.

La definición de esas medidas, que se basará en el desarrollo de un protocolo de decisión que luego pueda ser extrapolado a otros ríos y demarcaciones ibéricas, se basará en la caracterización hidromorfológica, ecológica y social llevada a cabo a lo largo del proyecto, y también en el análisis de las funciones y servicios ambientales aportados por cada alternativa.

Todos los resultados alcanzados a lo largo del plazo de ejecución del proyecto serán publicados en revistas divulgativas y científicas, en diversos eventos de carácter técnico, y también en la página web del proyecto. A lo largo de la comunicación presentada en el Congreso RestauraRíos se expondrán los resultados obtenidos hasta mayo de 2019, lo que ya comprenderá un amplio número de cuestiones hidráulicas, hidrológicas, morfológicas, ambientales y sociales.



4. Referencias

- Bodoque JM., Amérigo M, Díez-Herrero A, García JA, Cortés B, Ballesteros-Cánovas JA, Olcina J. 2016. Improvement of resilience of urban areas by integrating social perception in flash-flood risk management. *Journal of Hydrology* 541: 665–676.
- Hall J, Sayers P, Dawson R. 2005. National-scale assessment of current and future flood risk in England and Wales. *Natural Hazards* 36: 147–164.
- Hooijer A, Klijn F, Pedroli GBM., Van Os AG. 2004. Towards sustainable flood risk management in the Rhine and Meuse river basins: Synopsis of the findings of IRMA-SPONGE. *River Research and Applications* 20(3): 343–357.
- Magdaleno F, Delacámara G. 2015. Las Medidas Naturales de Retención de Agua: del diseño a la implementación a través de proyectos europeos. *Ingeniería Civil* 179: 131-138.
- Magdaleno, F. 2017. De la infraestructura gris a la verde. En: *Libro Blanco de la Economía del Agua (2017)*: 181-196. McGraw-Hill.
- Magdaleno F, Cortés FM, Molina B. 2018. Infraestructuras verdes y azules: estrategias de adaptación y mitigación ante el cambio climático. *Ingeniería Civil* 191: 105-112.
- Matthews T, Lo AY, Byrne JA 2015. Reconceptualizing green infrastructure for climate change adaptation: Barriers to adoption and drivers for uptake by spatial planners. *Landscape and Urban Planning* 138: 155-163.
- Merz B, Hall J, Disse M, Schumann A. 2010. Fluvial flood risk management in a changing world. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 10(3): 509–527.
- Vink K., Takeuchi K. 2013. International comparison of measures taken for vulnerable people in disaster risk management laws. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 4: 63–70.
- Vis M, Klijn F, De Bruijn KM, Van Buuren M. 2003. Resilience strategies for flood risk management in the Netherlands. *International Journal of River Basin Management* 1(1): 33–40.