

Crecidas controladas en el río Manzanares para la mejora del régimen de caudales ecológicos

Cortés, Francisco M.^{a*}; Molina, Beatriz^a; Magdaleno, Fernando^b.

^a Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), Área de Restauración Ambiental.

^b Ministerio para la Transición Ecológica, Dirección General del Agua.

*Autor para contacto: Francisco.M.Cortes@cedex.com

Resumen

El diseño e implantación de crecidas generadoras en España ha ido en aumento en las dos últimas décadas, siendo pioneros los casos de estudio en los ríos Ebro, Pisuerga y Cardener. En la Comunidad de Madrid, con una alta densidad de población y numerosas infraestructuras hidráulicas, sin embargo, no se habían dado, hasta la fecha, las circunstancias adecuadas para realizar operaciones de este tipo. En este contexto, la Dirección General de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid encargó al CEDEX un estudio piloto para valorar la posibilidad de la descarga controlada de avenidas con el objetivo de mejorar el régimen de caudales ecológicos en ríos de la Comunidad. Para el estudio se ha seleccionado el río Manzanares, en el tramo que abarca desde el embalse de Santillana hasta el embalse de El Pardo, y se ha realizado la caracterización ecológica, hidrológica, topográfica y granulométrica del ámbito de estudio. A partir de estos datos se han planteado diferentes escenarios de crecidas controladas (Q10, Q20, Q30, Q40, Q60) y se han simulado mediante el modelo numérico Iber. Considerando los resultados de la simulación y las posibilidades de mejora ecohidrogeomorfológica del área de estudio, se propone la crecida de caudal punta 40 m³/s como la más adecuada para reactivar o potenciar ciertos procesos del ecosistema fluvial.

Palabras clave: Avenidas; restauración; ecohidrogeomorfología.

Abstract

The design and implementation of controlled floods in Spain has been awakening interest over the past two decades, being pioneers the case studies of the Ebro, Pisuerga and Cardener rivers. In the Community of Madrid, with a high density of population and a large number of hydraulic infrastructures, however, the adequate circumstances for carrying out such operations had not occurred up to this date. In this context, the General Directorate for the Environment of Madrid requested from CEDEX the realization of a pilot study to assess the possibility of discharging controlled floods with the aim of improving the regimes of ecological flows in the rivers of Madrid. For the study, the Manzanares river has been selected, and more specifically, a reach of this channel, from the Santillana Dam to El Pardo Dam. With that aim, it has been carried out the ecological, hydrological, topographic and granulometric characterization of the study area. Based on these data, different controlled flood scenarios (Q10, Q20, Q30, Q40, Q60) have been proposed and simulated using Iber, a 2D hydraulic model. Considering the results of the simulation and the possibilities of ecohydrogeomorphological improvement, the peak flood of 40 m³/s is proposed as the most suitable to reactivate or enhance certain processes of the fluvial ecosystem.

Keywords: Floods; restoration; ecohydrogeomorphology.

1. Introducción

La normativa española establece como caudal ecológico aquel que “contribuye a alcanzar el buen estado o buen potencial ecológico en los ríos o en las aguas de transición y mantiene, como mínimo, la vida piscícola que de manera natural habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera” (R.D. 907/2007). Sin embargo, en la práctica, un gran número de caudales circulantes establecidos en los Planes Hidrológicos de cuenca pueden definirse más bien como caudales mínimos, que sólo ayudan a mantener ciertos procesos y comunidades biológicas en el río, y que tratan de satisfacer otros intereses por encima de los ambientales. Paulatinamente, estos caudales mínimos dan lugar a ecosistemas empobrecidos debido a la ausencia de perturbaciones naturales importantes que sean capaces de regenerar los hábitats y procesos propios del ecosistema fluvial. En este sentido, para mejorar la eficacia de los regímenes de caudales ecológicos en ríos de hidrología altamente transformada, en la década de los 70, en Estados

Unidos, surgió la necesidad de acometer el diseño y establecimiento de crecidas generadoras en ríos regulados, principalmente con el objetivo de mantener la vida piscícola para fines de pesca (p.ej. Tennant, 1976). No es hasta finales de la década de los 90 cuando se comienzan a diseñar y descargar volúmenes controlados con mayor fundamento científico y técnico (Gillespie et al., 2015), siendo también a mediados de esta década cuando se inicia la discusión sobre el diseño e implantación de crecidas generadoras en España. No obstante, las primeras experiencias de crecidas generadoras en nuestro país se han producido en las dos últimas décadas, siendo pioneras las descargas en las cuencas del río Ebro (Tena et al., 2013), del río Pisuerga (Cebrián et al., 2015) y del río Cardener (Pallarés y Martín-Vide, 2015).

Tabla 1. Resumen de los detalles hidrológicos más relevantes de las experiencias previas de descargas controladas realizadas en España (Magdaleno, 2017).

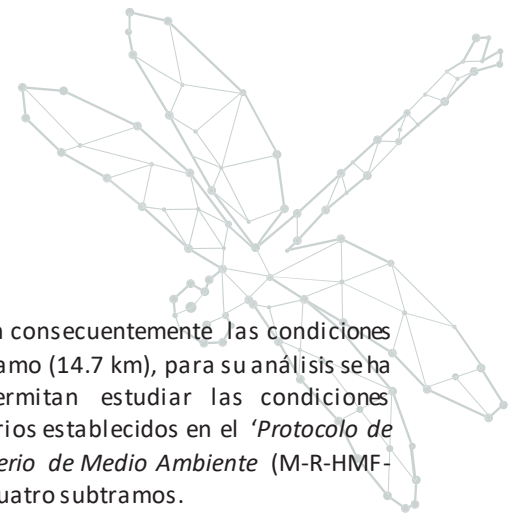
	Río Pisuerga	Río Cardener	Río Ebro
Demarcación hidrográfica	Duero	Cuencas Internas de Cataluña	Ebro
Organismo de cuenca	Confederación Hidrográfica del Duero	Agencia Catalana del Agua	Confederación Hidrográfica del Ebro
Descarga	Mayo de 2014	Marzo, abril y junio de 2015	Dos por año entre 2002 y 2016* (excepto 2004 y 2005)
Caudal punta de la descarga (m³/s)	96	4 / 8 / 12	900-1300
Periodo de retorno del caudal punta (años)	2.4	< 2	1.5-2
Duración (h)	10.5	24.0	16.0
Volumen (hm³)	0.82	Aprox. 0.3-1.0	36 (cada descarga)
Estacionalidad	Primavera	Primavera	Primavera y otoño
Tasas de cambio	Variable, función logística	Tasa de ascenso: $Q_{t+1} = 1.8Q_t$ Tasa de descenso: $Q_{t+1} = 0.7Q_t$	Variable, en relación con otros requerimientos técnicos de la crecida

Recientemente, también se han producido crecidas controladas en otras cuencas (p. ej. río Gaià y río Ter), pero ninguna de ellas en el ámbito de la Comunidad de Madrid. Para revertir esta situación, en el marco del Plan Integral de Recuperación y Conservación de Ríos y Humedales de la Comunidad de Madrid, la Dirección General de Medio Ambiente encargó al Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) un estudio piloto para la mejora del régimen de caudales ecológicos en ríos fuertemente regulados de la Comunidad de Madrid, con el objetivo principal de que, al menos en aquellos tramos situados aguas abajo de las grandes infraestructuras hidráulicas, se cumpla lo establecido en la Instrucción de Planificación Hidrológica (ARM/2656/2008) sobre la caracterización del régimen de crecidas.

2. Material y métodos

2.1 Ámbito de estudio

El río y el tramo de estudio fueron seleccionados, de entre cuatro cursos de agua fuertemente regulados (ríos Manzanares, Lozoya, Guadalix y arroyo de La Jarosa), en base a una matriz de decisión que contenía criterios hidrológicos, geomorfológicos, ecológicos, ecosistémicos y de vulnerabilidad social. Finalmente el río seleccionado para llevar a cabo el estudio piloto fue el río Manzanares, curso de agua íntegramente madrileño que nace en la Sierra de Guadarrama, a 2.376 m de altitud, y desemboca en el río Jarama, en el municipio de Rivas Vaciamadrid, a una altitud de 530 m (ORDEN de 28 de mayo de 1987). El tramo de estudio se encuentra situado entre la presa del embalse de Santillana, localizada en el término municipal de Manzanares el Real, y la cola del embalse de El Pardo, ya en el término de Madrid. El ámbito de estudio se encuentra situado, en su totalidad, dentro del Parque Regional de la Cuenca Alta del Manzanares (PRCAM), presentando una amplia variedad de hábitats que albergan numerosas especies, algunas de ellas de alto valor ecológico (C. Madrid, 1985 y 1987). No obstante, a lo largo del tramo fluvial existen, además de la presa de Santillana, numerosas infraestructuras hidráulicas de pequeño a mediano tamaño que producen un impacto



considerable en la conectividad (longitudinal, transversal y vertical) y que alteran consecuentemente las condiciones físicas, químicas y biológicas del tramo. Teniendo en cuenta la longitud total del tramo (14.7 km), para su análisis se ha optado por la división en diferentes subtramos representativos que permitan estudiar las condiciones ecohidromorfológicas del ámbito de estudio. Para ello, se han valorado los criterios establecidos en el 'Protocolo de caracterización hidromorfológica de masas de agua de la categoría ríos del Ministerio de Medio Ambiente (M-R-HMF-2015)' (MAPAMA, 2017). Tras la valoración de estos criterios, se han establecido cuatro subtramos.

Tabla 2. Subtramos establecidos para la caracterización ambiental del tramo de estudio.

	1	2	3	4
Descripción	Subtramo comprendido entre la presa del embalse de Santillana y el paso del Vado de las Carretas.	Subtramo comprendido entre el Vado de las Carretas y las construcciones rústicas	Subtramo comprendido entre las construcciones rústicas y la presa de El Grajal	Subtramo comprendido entre la presa de El Grajal y el puente de la Marmota
Longitud (km)	1.054	1.207	5.947	6.139

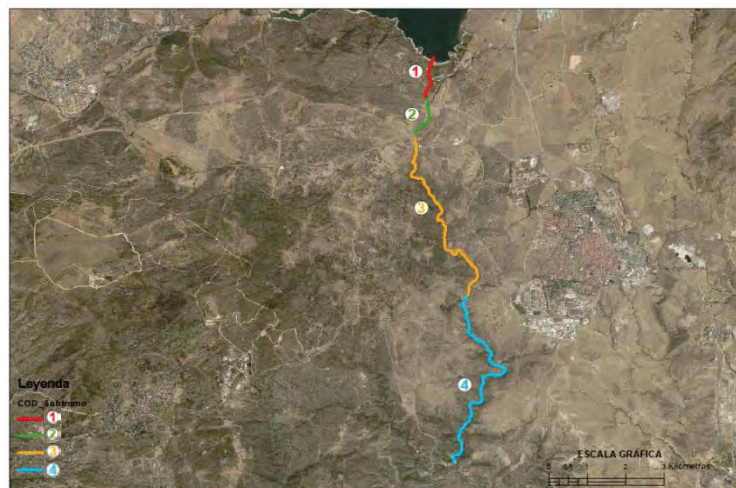


Figura 1. Vista general de los subtramos. Elaboración propia a partir de la cartografía del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

2.2 Topografía y batimetría

La topografía del terreno y la batimetría del cauce se realizaron con el apoyo de una estación Leica GPS1200 con sistema GPS de altas prestaciones. Para la captura de coordenadas dentro del río, debido a la profundidad que se alcanzaba en muchas secciones de los subtramos, se optó por la utilización de trajes completos de neopreno. Asimismo, en las secciones con profundidades superiores a 1.80 m., fue necesaria la utilización de un asiento flotador modelo *Lost Lake* de la marca *White River Fly Shop*®. Para la caracterización del perfil longitudinal se emplearon unos 1200 puntos del total de datos recogidos (1700 puntos). En cuanto a los perfiles transversales, se ha realizado el levantamiento topográfico de 27 secciones del cauce a lo largo del tramo de estudio.

2.3 Granulometría

Para el análisis del tamaño del sedimento en el tramo de estudio se empleó el método *Pebble count* de Wolman (Wolman, 1954) con ayuda de un gravelómetro. La luz de los tamices de este instrumento se corresponde con los tamaños de una escala logarítmica (ϕ ó ψ) con un incremento de ϕ/ψ de 0.5 entre tamaños. El tamaño más pequeño es de 4 mm ($\psi=2$) y el más grande de 128 mm ($\psi=7$), aunque existen muescas externas que permiten medir partículas de hasta 362 mm ($\psi=8$). Se seleccionaron nueve zonas de muestreo que incluyeran, en una proporción similar, los rápidos y remansos más representativos de la variabilidad y heterogeneidad del tramo fluvial. En estas zonas de muestreo se efectuaron varios transectos, en cada uno de los cuales se realizaron un total de 105 observaciones.

Tabla 3. Zonas de muestreo de sedimentos, número de transectos y observaciones totales.

Zona de muestreo	Nº de transectos	Total observaciones/zona
M.01	2	210
M.02	2	210
M.03	3	315
M.04	4	420
M.05	4	420
M.06	2	210
M.07	4	420
M.08	4	420
M.09	1	105

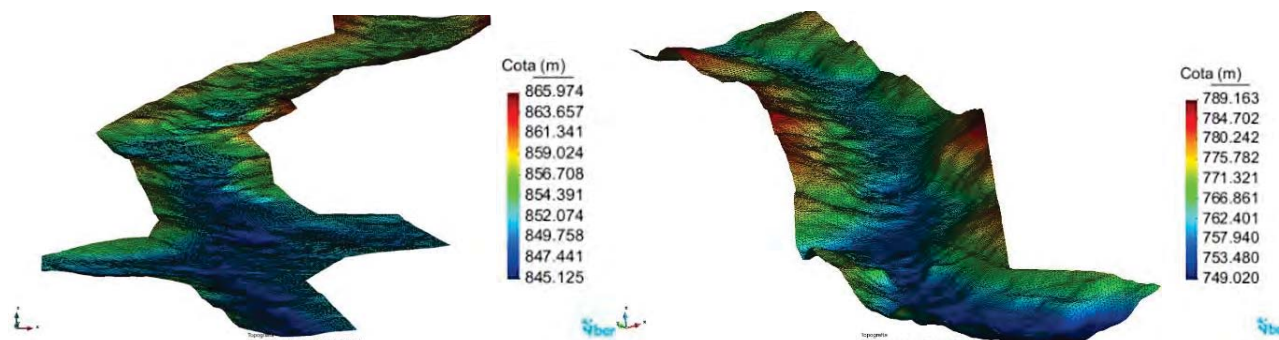
2.4 Hidrología e hidráulica

La caracterización hidrológica se ha realizado a partir de los datos de series hidrológicas disponibles en el Anuario de aforos 2014-15 del Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX, 2018). Se han utilizado 4 estaciones de aforos que han sido seleccionadas por su relación directa con el tramo de estudio, o bien, por presentar un régimen de caudales poco alterado que pudiera dar indicios sobre el régimen previo a la regulación en el tramo de estudio. En función de la longitud de las series hidrológicas se han utilizado diferentes programas informáticos para el cálculo de los patrones hidrológicos y los índices de alteración hidrológica en ríos. Para aquellas estaciones con una longitud superior a 15 años en el periodo pre-alteración y otros 15 años en el periodo post-alteración, se ha empleado la aplicación IAHRIS 2.2 (Martínez Santa-María y Fernández Yuste, 2010) Para las demás estaciones se ha utilizado la herramienta informática IHA (*Indicators of Hydrologic Alteration*) (Richter et al., 1996), ya que no se precisa una longitud mínima de datos en las series hidrológicas.

Tabla 4. Estaciones de aforo seleccionadas. Fuente: Anuario de aforos del CEDEX.

Nombre estación	Código	Inicio serie	Fin serie	Activa
Río Manzanares en Puente Batán	3018	2011/12	2014/15	Sí
Río Manzanares en Santillana	3069	1944/45	1985/86	No
Río Manzanares en Santillana Manzanares	3071	2011/12	2014/15	Sí
Río Nava cerrada en Santillana Samburriel	3075	2011/12	2014/15	Sí

La modelización hidráulica, cuyo objeto es predecir en diferentes escenarios el funcionamiento hidrodinámico del río en el tramo de estudio, se ha realizado empleando el modelo numérico Iber 2D. Debido a la longitud y complejidad del ámbito de estudio, se ha estimado oportuno ejecutar tres modelos en total. Se trata de un modelo global, que reproduce todo el tramo de estudio, y de dos modelos locales, uno en la zona del vado, situado aguas abajo de la presa del Santillana; y otro, en el entorno del puente y la presa de El Grajal. Los parámetros hidráulicos que se han simulado en cada una de las ubicaciones de los modelos locales (Vado de las Carretas y El Grajal) han sido: i. el calado, ii. la velocidad, iii. la tensión de arrastre y iv. la peligrosidad. Para el modelo global sólo se han simulado los tres primeros parámetros.



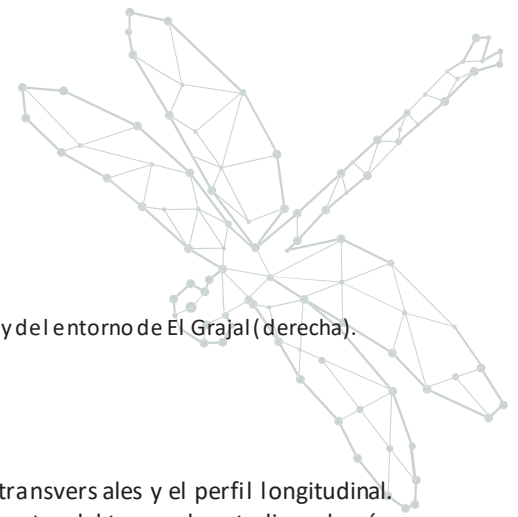


Figura 2. Mallas de cálculo en Iber para el modelo local del Vado de las Carretas (izquierda) y del entorno de El Grajal (derecha).

3. Resultados

3.1 Topografía y batimetría

A partir de los datos topográficos obtenidos en campo se elaboraron los perfiles transversales y el perfil longitudinal. Para el perfil longitudinal, debido a la dificultad de acceso al cauce, en algunos segmentos del tramo de estudio, además de los datos recopilados, se ha realizado una interpolación lineal para completar el perfil. En cuanto a los perfiles transversales, se han obtenido 27 perfiles a lo largo del tramo, concentrándose la mayoría de éstos en los subtramos 1 y 2 por la facilidad de acceso tanto al cauce como a las márgenes. En los subtramos 3 y 4, el cauce se encajona de forma significativa, lo que dificulta enormemente el acceso y la posibilidad de realizar el levantamiento topográfico en condiciones de seguridad. En la figura 5 se muestran algunos ejemplos de los perfiles transversales obtenidos, acompañados de la imagen de la zona.

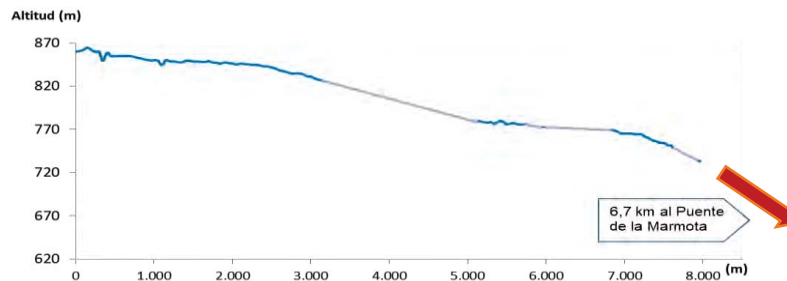


Figura 3. Perfil longitudinal del río Manzanares en el tramo de estudio. La cota al final del tramo (puente de la Marmota) es, a aproximadamente, de 630 m. En color azul, datos procedentes del levantamiento topográfico; en color violeta, datos procedentes de la interpolación lineal. Elaboración propia.

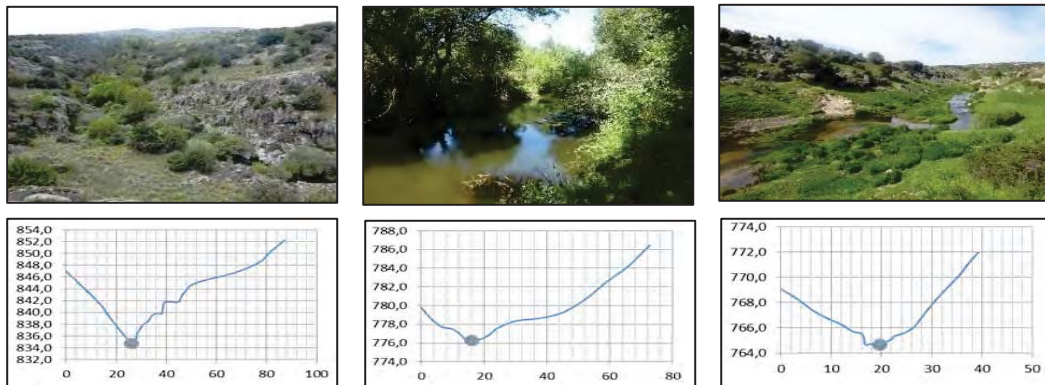


Figura 4. Perfiles de las secciones transversales del cauce en diferentes zonas del tramo de estudio. La línea de vaguada o thalweg se ha marcado con un punto de color gris. Elaboración propia.

3.2 Granulometría

A partir de las observaciones de tamaño del sedimento se confeccionaron las correspondientes curvas granulométricas. Para ello se calculó el porcentaje de frecuencia acumulada de cada clase de tamaño por zona de muestreo, así como para el tramo completo de estudio. También se han calculado diversos parámetros de distribución de tamaños, cuyos resultados evidencian una situación de desequilibrio en los tamaños de los sedimentos, tanto para las diferentes zonas de muestreo como para el tramo completo. No obstante, para el total de observaciones, a pesar del deficiente reparto de tamaños, la distribución se ajusta bien a una distribución normal.

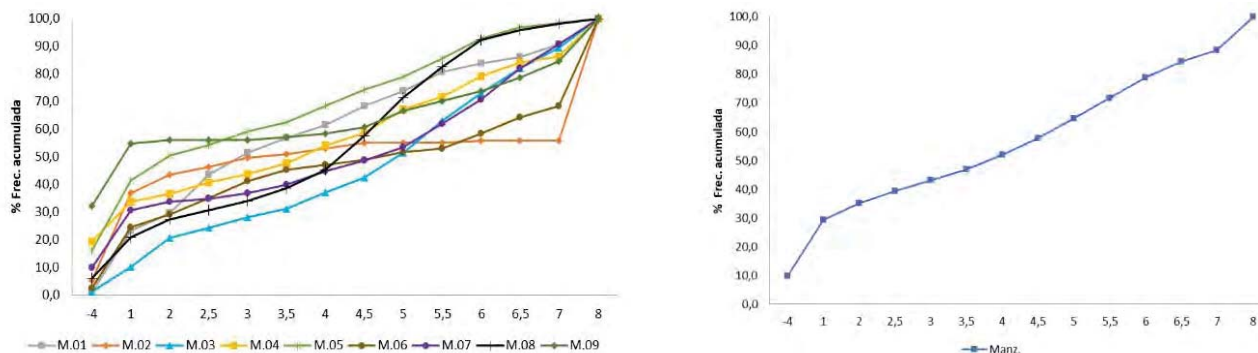


Figura 5. Curvas granulométricas para cada zona de muestreo (M.01 a M.09) y curva granulométrica a partir del total de observaciones obtenidas. Elaboración propia.

Tabla 5. Parámetros de distribución de los tamaños en las diferentes zonas de muestreo, así como en el conjunto de zonas.

Parámetros distribución	M.01	M.02	M.03	M.04	M.05	M.06	M.07	M.08	M.09	Conjunto zonas
Media	3.473	4.167	4.667	2.167	1.700	4.667	4.333	3.833	1.333	3.833
Mediana (P_{50})	3	3.5	5	4	2	5	5	4.5	1	4
Coefficiente clasificación	2.416	3.265	2.311	4.443	3.566	2.811	3.318	2.841	4.568	3.193
Asimetría	0.298	0.286	-0.138	-0.429	-0.157	-0.143	-0.333	-0.400	0.129	0.026
Curtosis	0.820	0.585	0.820	0.984	1.076	0.478	0.894	1.230	0.468	0.984

3.3 Hidrología e hidráulica

Con los datos obtenidos del anuario de aforos (CEDEX, 2018) se han representado los hidrogramas de las estaciones de aforo seleccionadas y, con la ayuda de las herramientas informáticas IAHRIS e IHA, se han calculado las curvas, mensuales y totales, de caudales clasificados.

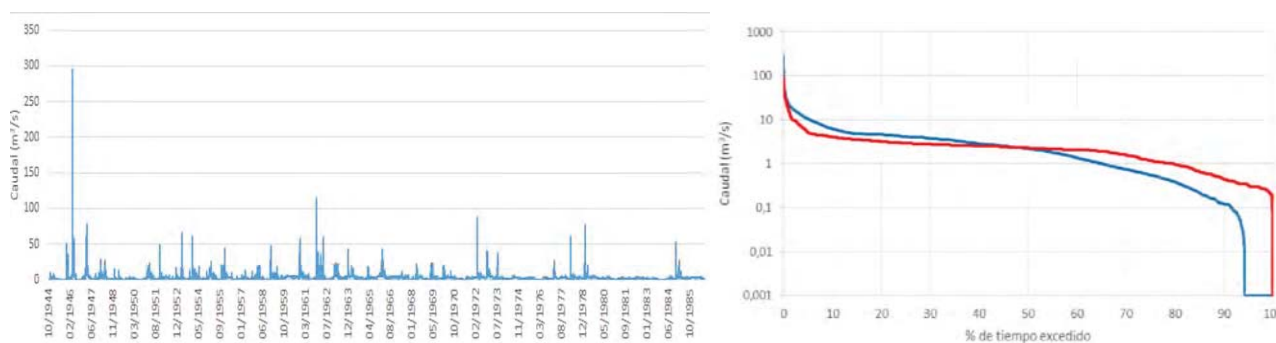
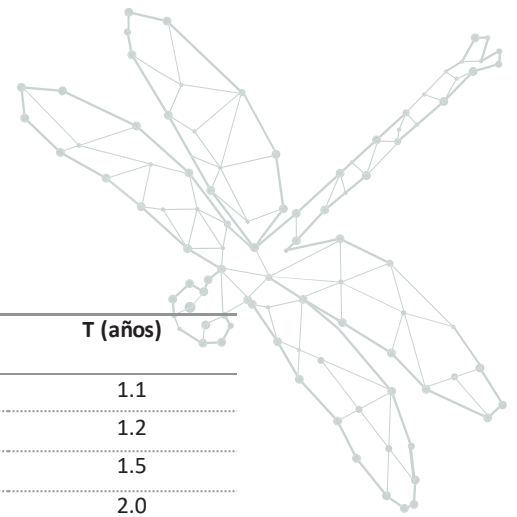


Figura 6. Hidrograma (derecha) y curva completa de caudales clasificados de la estación de aforos 3069 Santilla (izquierda). La curva de caudales representa los escenarios pre-alteración (a azul), 1944-1971, y post-alteración (rojo), 1971-1986. Elaboración propia.

Asimismo, a partir de los valores máximos de caudal instantáneo para cada año hidrológico de la serie más larga que afecta directamente al tramo de estudio (3069 Santillana), se han calculado los tiempos de retorno para un determinado caudal. De esta forma, una vez obtenidos estos caudales tentativos, se ha entendido oportuno modelizar finalmente cinco crecidas de diseño, correspondientes a caudales de 10, 20, 30, 40 y 60 m³/s, definiendo para ello cinco hidrogramas sintéticos que guardaran semejanza con los hidrogramas ocurridos en régimen previo a 1971, que es cuando se produce el último recrecimiento de la presa de Santilla.

Tabla 6. Rango de caudales y periodo de retorno asociados a cada una de las crecidas de diseño propuestas.



Crecida de diseño	Rango de caudales asociado (m ³ /s)	Volumen requerido en la descarga (hm ³)	T (años)
Q10	9-11	1.757	1.1
Q20	18-22	3.682	1.2
Q30	27-33	5.303	1.5
Q40	38-42	6.444	2.0
Q60	54-66	11.742	2.5

Tras las simulaciones de los diferentes escenarios de crecidas controladas en Iber, los resultados indican que para el calado las diferencias son moderadas entre crecidas, siendo mayores en los escenarios Q40-Q60. En cuanto a las velocidades, prácticamente no se registran variaciones significativas, a excepción de Q60, que sí presenta valores más elevados. Respecto a la movilización de sedimento, los resultados indican que es prioritario seleccionar crecidas a partir de Q20, siendo Q40-Q60, los escenarios que presentan mayores tasas potenciales de movilización del sedimento. En ese sentido, también se observa que para la movilización de superficies (áreas arboladas, áreas de matorral y cultivo, barras de arena/grava y zonas herbáceas) tan solo las crecidas Q40-Q60 producirían cierta movilización en áreas cubiertas por árboles. Por su parte, la peligrosidad para la población aumentaría ligeramente a partir del escenario Q30.

4. Propuesta del régimen de crecidas controladas

Desde el punto de vista de la gestión de la masa de agua del tramo de estudio, todas las crecidas simuladas darían cumplimiento a los requerimientos establecidos por el Reglamento de Planificación Hidrológica (R.D.907/2007) y por la Instrucción homónima (ARM/2656/2008), por lo que la selección final de la crecida generadora debe tener en cuenta el coste y los beneficios derivados de cada alternativa de actuación. Por tanto, a la vista de los resultados, y teniendo presentes las incertidumbres que las simulaciones y aproximaciones realizadas pueden conllevar, la crecida sintética que podría tener mayor interés para alcanzar los objetivos fijados en el tramo de estudio sería la del escenario Q40, al resultar la más idónea en términos ambientales y no presentar problemas graves de seguridad para la población. En este sentido cabe destacar que la elección de esta crecida como la mejor alternativa se ha basado en la ponderación de todos los parámetros evaluados, siendo la peligrosidad un parámetro con el mismo peso específico que los demás, ya que no resulta crítico por sí mismo, y es posible mitigarlo casi completamente mediante medidas preventivas y correctoras. La crecida de Q40 se prescribiría de acuerdo con los atributos señalados en la tabla 7.

Tabla 7. Características de la crecida sintética recomendada como caudal generador desde la presa de Santillana.

Atributo	Valor o atributo recomendado
Magnitud	40 m ³ /s
Duración	3 días
Frecuencia	T = 2,0 años
Estacionalidad	Febrero - abril
Tasas de cambio	1.67 m ³ /s/h (ascenso) 0.83 m ³ /s/h (descenso)

5. Conclusiones

A la vista de las experiencias nacionales e internacionales realizadas hasta la fecha (Tena et al., 2013; Cebrián et al., 2015; Pallarés y Martín-Vide, 2015; Gillespie et al., 2015), se evidencia la necesidad de dar continuidad a la descarga de crecidas generadoras en ríos fuertemente regulados, como es el caso del río Manzanares y de otros ríos madrileños, para mejorar sus funciones y servicios ambientales, contribuyendo de este modo a alcanzar el buen estado o el buen potencial de las masas de agua. El diseño de estas crecidas generadoras debe ser coherente con los criterios y objetivos de planificación fijados a nivel nacional (R.D. 907/2007; ARM/2656/2008) y de demarcación hidrográfica (R.D. 1/2016), así como a otros planes sectoriales existentes. A su vez, se deben valorar de forma conjunta las particularidades físicas, ambientales y sociales de cada río y de cada territorio para asegurar que el resultado esperado de la crecida no comprometa la seguridad de las personas ni los valores físicos y naturales de la zona. En el caso del río Manzanares, el estudio realizado ha evidenciado que se trata de un tramo fluvial con buena potencialidad para la descarga de crecidas

controladas, especialmente a causa de la alteración ecogeomorfológica que el río registra por su histórica regulación, pero también por la ausencia de aprovechamientos o usos del suelo actual que sean incompatibles con sueltas de estas características. La selección de la magnitud, frecuencia, duración, estacionalidad y tasas de cambio óptimas para el diseño de crecidas generadoras en el río Manzanares ha tenido en cuenta un amplio rango de cuestiones hidráulicas, hidrológicas, geomorfológicas, ecológicas y sociales propias del tramo de estudio, así como la posible incidencia que la descarga tendría sobre los niveles de almacenamiento de agua en el embalse de Santillana. El análisis coste-beneficio realizado ha permitido seleccionar una crecida sintética específica (caudal punta = 40 m³/s) como la más conveniente para el ámbito de estudio. Por otra parte, uno de los aspectos que resulta esencial para asegurar que las crecidas sintéticas propuestas en este tipo de estudios se adapten a las necesidades eco-hidrológicas del río es la monitorización de sus efectos en el tramo a lo largo del tiempo, esto es, el establecimiento de un programa de seguimiento adaptativo que permita cuantificar el cambio que se está produciendo. En este sentido, es fundamental evaluar especialmente la actividad geomorfológica del cauce y, en particular, el transporte sólido de fondo, que se realizará, siempre que sea posible, en aquellos puntos en los que se han llevado a cabo los muestreos previos. Finalmente, se considera conveniente que los futuros análisis de la influencia de las crecidas controladas en el río Manzanares incluyan una valoración de los costes económicos de sus efectos, pero también una valoración de los costes ambientales asociados. En otras palabras, se recomienda valorar no sólo el coste de la descarga, sino también los costes relacionados con la falta de crecidas en el río. El objetivo de multifuncionalidad de la gestión fluvial puede contribuir a hacer de las crecidas generadoras una herramienta de elevada importancia para la consecución de los objetivos medioambientales en el río, desde una triple perspectiva de mejora de las funciones ambientales, de los servicios ecosistémicos, y del papel de los ríos como infraestructuras verdes capitales del territorio.

6. Referencias

- Cebrián, M.; Minaya, R.; Prieto, L.; Rodríguez, J. y Rodríguez, I. 2015. Primer ensayo de evaluación de caudal generador en la cuenca del Duero aguas abajo de la presa de Requejada (río Pisuegra, Palencia). *Actas, II Congreso Ibérico de Restauración de Ríos (Restauraríos)*, pp. 54-64. Pamplona.
- CEDEX. 2018. Anuario de aforos 2014 – 2015. [En línea. Último acceso: 27/06/2018]. Disponible en: <http://ceh-flumen64.cedex.es/anuarioaforos/default.asp>
- Comunidad de Madrid. LEY 1/1985, de 23 de enero, del Parque Regional de la Cuenca Alta del Manzanares. *Boletín oficial de la Comunidad de Madrid (BOCM)* de 8 de febrero de 1985, núm 33.
- Comunidad de Madrid. LEY 2/1987, de 23 de abril, por la que se amplía el Parque Regional de la Cuenca Alta del Manzanares. *Boletín oficial de la Comunidad de Madrid (BOCM)* de 7 de mayo de 1987.
- Comunidad de Madrid. ORDEN de 28 de mayo de 1987, de la Consejería de Ordenación del Territorio, Medio Ambiente y Vivienda, por la que se hace pública la aprobación definitiva del Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Regional de la Cuenca Alta del Manzanares, promovido por la Consejería de Agricultura y Ganadería. *Boletín oficial de la Comunidad de Madrid (BOCM)* de 31 de julio de 1987.
- Gillespie, B.R.; Desmet, S.; Kay, P.; Tillotson, M.R. & Brown, L.E. 2015. A critical analysis of regulated river ecosystem responses to managed environmental flows from reservoirs. *Freshwater Biology* 60(2): 410-425.
- IBER. 2018. Recurso electrónico. En línea. Disponible en <http://www.iberaula.es/>
- Magdaleno, F. 2017. Experimental floods: A new era for Spanish and Mediterranean rivers? *Environmental Science & Policy*, 75, 10-18.
- Martínez Santa-María, C. y Fernández Yuste, J.A. 2010. *IAHRIS 2.2 Índices de alteración hidrológica en ríos. Manual de referencia metodológica*. Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Real Decreto 1/2016, de 8 de enero, por el que se aprueba la revisión de los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro. *Boletín Oficial del Estado (BOE)* núm. 16, de 19 de enero de 2016, páginas 2972 a 4301.
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA). 2017. *Protocolo de caracterización hidromorfológica de masas de agua de la categoría río. Código: M-R-HMF-2015*. Versión 2 (17 mayo 2017).
- Ministerio de Medio Ambiente. Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica. *Boletín Oficial del Estado (BOE)* núm. 162, de 7 de julio de 2007, páginas 29361 a 29398.



Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica. *Boletín Oficial del Estado (BOE)* núm. 229, de 22 de septiembre de 2008, páginas 38472 a 38582.

Pallarés, A. y Martín-Vide, J.P. 2015. Efectes de l'alliberament de cabal generador a preses de Catalunya. Treball Final de Grau. Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals y Ports, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Barcelona, 83 pp.

Richter, B.D.; Baumgartner, J.V.; Powell, J.; Braun, D.P. 1996. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology*, Volume 10, Issue 4, 1163-1174.

Tena, A.; Książek, L.; Vericat, D.; Batalla, R.J. 2013. Assessing the geomorphic effects of a flushing flow in a large regulated river. *River Research and Applications* 29(7): 876-890.

Tennant, D.L. 1976. Instream flow regimes for fish, wildlife, recreation, and related environmental resources. In: Orsborn, J.F. & Allman, C.H. (Eds), *Proceedings of the Symposium and Speciality Conference on Instream Flow Needs II*. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. pp. 359-373.

Wolman, M.G. 1954. A method of sampling coarse bed material. *American Geophysical Union, Transactions*, 35: 951-956.