

Buenas prácticas para el mantenimiento y conservación de cauces

Good practices for maintenance and conservation of river channels

Alberto Cabrero Rodríguez^{1*} y Fernando Magdaleno Mas¹

Palabras clave

gestión fluvial;
mantenimiento de cauces;
conservación de cauces;
planificación fluvial;
dinámica fluvial;

Sumario

Los cauces fluviales y sus terrenos aledaños proporcionan una serie de importantes servicios ambientales, gracias a su singular estructura y funcionamiento. Al tiempo, muchos de estos cauces se enfrentan a frecuentes operaciones de aumento de la eficiencia hidráulica y de ampliación de la capacidad de desagüe, que comportan diversos problemas desde el punto de vista hidromorfológico, ecológico y social. Este trabajo tiene como objetivo, sobre la base de la complejidad de los sistemas fluviales, ofrecer una base para orientar su gestión, en lo referente a los diferentes trabajos de mantenimiento y conservación de cauces. Para ello, se repasan cada una de las acciones habitualmente incluidas en dichas operaciones, y se aportan diversas recomendaciones enfocadas a la mejora de su diseño y ejecución.

Keywords

river management;
river channel maintenance;
river channel conservation;
river management plan;
fluvial dynamics;

Abstract

According to their unique structure and functioning, river channels and its surrounding grounds provide a number of important environmental services. At the same time, many of these channels face frequent operations to increase their hydraulic efficiency and expand their discharge capacity. Too often these actions generate hydro-morphological, ecological and social problems. This work aims to provide a sound basis for guiding river management, based on the complexity of river systems, with regard to different maintenance and conservation practices. To do so, each of the actions usually included in conservation and maintenance schemes is reviewed, by supplying several recommendations aiming to improve their design and implementation.

1. INTRODUCCIÓN

Desde un punto de vista normativo, la gestión fluvial, de acuerdo a la Ley de Aguas (R.D.L.1/2001) debe estar orientada a la protección del recurso hidráulico, de los ecosistemas asociados a los cauces, y a la disminución de los daños provocados por las inundaciones. La normativa europea en materia hídrica plantea igualmente la necesidad de armonizar la protección y conservación de las masas de agua y de sus ecosistemas asociados con el aprovechamiento ordenado del agua. En el contexto europeo, cabe destacar en este sentido lo estipulado por la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE), la Directiva relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación (2007/60/CE) y la Directiva Hábitats (92/43/CEE). (figura 1).

Con relación a la materia específica de las inundaciones, diversos autores han evidenciado el incremento de los riesgos de inundación en España en los últimos treinta años. Este incremento sería producto de diversas cuestiones, pero especialmente de un desarrollo urbanístico caracterizado por su escasa planificación (Barredo, 2009; Lara et al., 2010). Por ello, una parte importante de los esfuerzos de gestión han estado orientados a la defensa contra inundaciones, para lo que se han realizado actuaciones usualmente conocidas como de mantenimiento y conservación de cauces. Su enfoque general ha sido la mejora de la capacidad de desagüe de los tramos problemáticos, mediante

la mejora de su eficiencia hidráulica y/o el aumento de su sección de desagüe (figura 2). Con este objetivo, estas obras han incluido con frecuencia la realización de tratamientos selvícolas en el entorno de los cauces, limpiezas de vegetación acuática o retirada de restos de madera muerta, –para reducir la rugosidad de los cauces–, y dragados, excavación de un cauce más amplio o elevación de las márgenes mediante la construcción de diques longitudinales, –para aumentar su sección de desagüe–.

Sin embargo, este tipo de actuaciones presenta habitualmente numerosos problemas de carácter hidromorfológico y ambiental. Cuando estos trabajos son de elevada intensidad, pueden afectar a los mecanismos que mantienen el equilibrio fluvial, y desencadenar secuencias de procesos y contra-procesos difíciles de predecir, de gran inestabilidad, y que pueden plantear muchos problemas de gestión, desde un punto de vista ambiental y socio-económico. Análogamente, si su intensidad es moderada o baja, el sistema puede absorber el cambio infligido, perdiendo utilidad las actuaciones, requiriendo su constante reiteración, y restando eficacia a la gestión, y eficiencia a la asignación de recursos públicos.

Además de los problemas de pérdida de funcionalidad de las obras, el alejamiento de la dinámica natural, al actuar sobre una biocenosis adaptada evolutivamente precisamente a esa dinámica, puede provocar importantes alteraciones en los sistemas fluviales. Más allá del propio valor de los ecosistemas, esto repercute en los servicios ambientales que proporcionan, tales como la mejora de la calidad de las aguas por autodepuración, la laminación de avenidas en las

* Corresponding author: alberto.cabrero@cedex.es

¹ Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas del CEDEX, Madrid, España.

llanuras de inundación, o el aumento de la biodiversidad (cuestión especialmente significativa en ambientes áridos de la Península Ibérica) (figura 3).

La mejora progresiva en el conocimiento de la dinámica fluvial, unido a la normativa europea de aplicación directa en la gestión de los ecosistemas acuáticos, han puesto en tela de juicio la necesidad, y muy especialmente, los procedimientos de aplicación de gran parte de estas actuaciones.

Un enfoque fructífero para entender el funcionamiento de los sistemas fluviales es contemplarlos como el mecanismo de drenaje de los territorios, a través del cual evacúan los excesos de agua no retenidos en el sustrato y los productos de la erosión. La imbricación de estos dos procesos y su interrelación con el contexto climático y geológico es lo que define sus características como ecosistema. Este patrón a escala de cuenca es modulado por factores locales, y así se precisan las características ecológicas de cada emplazamiento. Se podría decir que los factores a escala de cuenca configuran el contexto geomorfológico e hidrológico sobre el que luego actúan los factores locales para definir, en diálogo constante, tanto la forma del cauce - pendiente, anchura, profundidad, granulometría del lecho, etc. -, como las características de las zonas de ribera (Naiman *et al.*, 2005).

Se trata, por tanto, de medios muy dinámicos a escala local, pero que en condiciones naturales, y a escala de cuenca, manifiestan un comportamiento bastante estable debido a que las alteraciones se retroalimentan, y neutralizan entre sí, conformando un sistema cuyas características oscilan en torno a unas condiciones intermedias. Por su parte, la vegetación de ribera es un factor clave para la modulación de la intensidad de muchos procesos locales de erosión-sedimentación (Naiman *et al.*, 2005), y en caso de sufrir alteraciones de suficiente intensidad, puede contribuir a romper la situación de equilibrio descrita.

2. NECESIDAD DE PLANIFICACIÓN DE LOS TRABAJOS

Los trabajos de conservación y mantenimiento de cauces han recibido habitualmente un enfoque muy local, a través del cual se ha pretendido responder a problemas concretos mediante acciones puntuales. Sin embargo, esta concepción implica obviar las interrelaciones entre procesos que se producen a escala de cuenca, lo que ha motivado, con mucha frecuencia, que los problemas que se pretendían resolver se trasladasen a puntos de donde no existían, y en general magnificados.

El enfoque óptimo de los trabajos de conservación y mantenimiento, en consecuencia, consiste en integrarlos en un plan de gestión a escala de cuenca, y con una escala temporal suficientemente amplia, que se haga cargo de su evolución en el tiempo.

Otra de las ventajas de la definición de un plan de gestión es que constituye el marco adecuado para la participación de los diferentes colectivos implicados, poniendo en evidencia sus intereses, y permitiendo estudiarlos y discutirlos, para poder definir, zona por zona, el tipo de mantenimiento que deberá ser realizado. Lo que facilita vencer las resistencias sociales a los nuevos enfoques, que son casi siempre las más problemáticas.

Posteriormente, el diseño de cada actuación debe incluir las siguientes fases:

1. Detección del tramo que necesita actuación.
2. Diagnóstico, que incorpore el análisis del origen de la alteración, y la identificación de sus mecanismos de desarrollo.
3. Comprobación de la compatibilidad de la actuación con las funciones de la administración hidráulica y con los objetivos ambientales definidos para las masas de agua.
4. Evaluación de los resultados de la actuación transcurrido un breve plazo tras su ejecución, para detectar posibles derivas, y la necesidad de nuevos diseños y planteamientos.

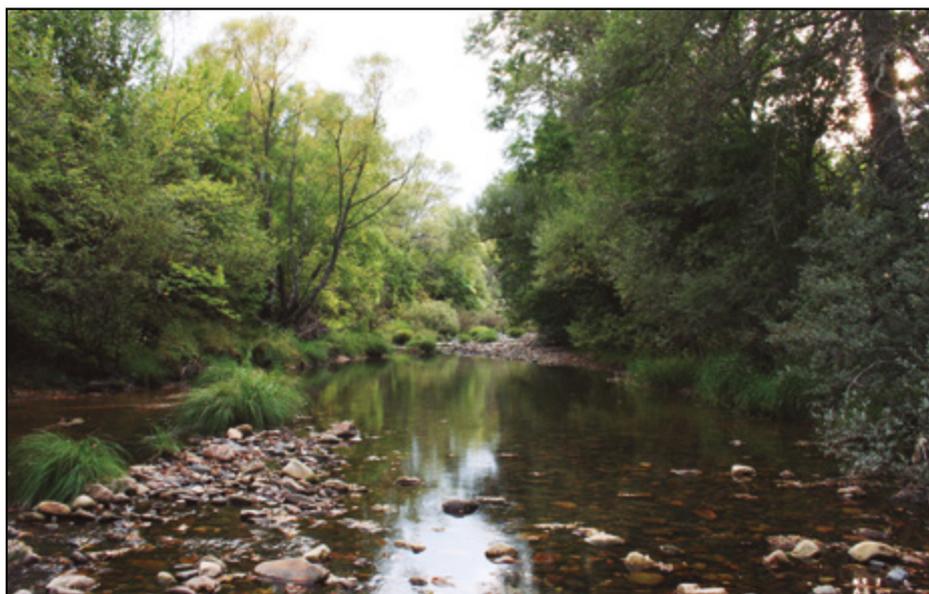


Figura 1. La normativa española y europea en materia de aguas exige la conservación del buen estado ecológico de los ecosistemas fluviales. La base física de este planteamiento legal es que los procesos naturales de ajuste que dominan la dinámica de un cauce aseguran el mejor funcionamiento ecológico, y la provisión de servicios ambientales. Entre ellos, la mejora en la gestión del riesgo de inundación (río Torío, León).



Figura 2. Enfoque habitual de los trabajos de conservación de cauces. Arriba: Aumento de la capacidad de desagüe de un cauce, mediante aumento de su sección, y mejora de la eficiencia hidráulica, por reducción de la rugosidad mediante eliminación de la vegetación. Abajo: Detalle de las operaciones de retirada de la vegetación colonizadora. Como resultado de este tipo de actuación, el cauce pierde buena parte de su funcionalidad ecológica, y de los servicios ambientales que proporcionaba (Rambla de Les Sorts, Alicante).

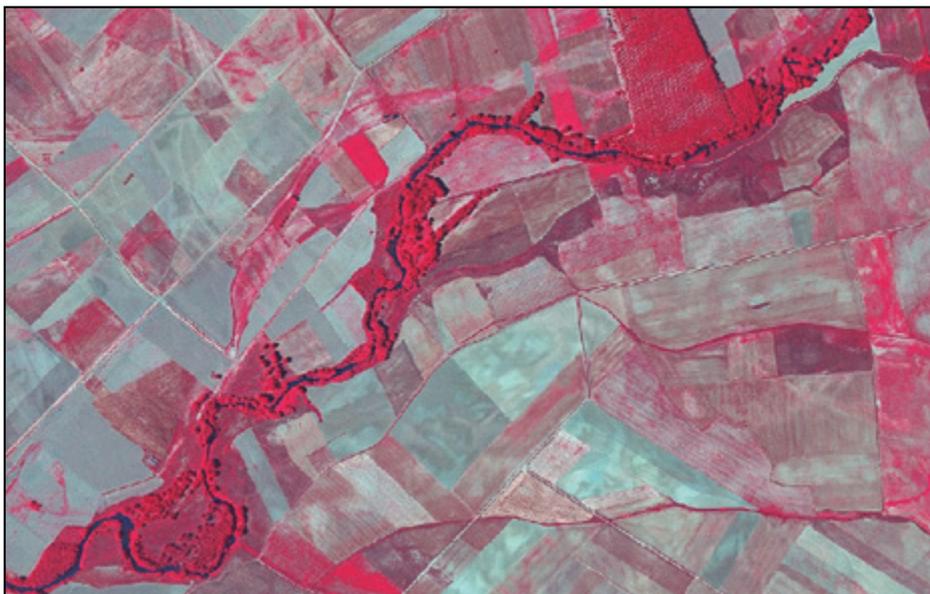


Figura 3. Río Cea a su paso por la llanura cerealista castellana. Ortofotografía en falso color infrarrojo para destacar la presencia de vegetación, las tonalidades rojas se corresponden con la banda en que los pigmentos vegetales presentan un máximo. En la imagen se hace evidente la condición de islas de diversidad de los ambientes riparios en ambientes áridos (río Cea, entre las localidades de Gordoncillo y Valderas, León). Fuente: PNOA.



Figura 4. Rebrote tras apeo. La situación alcanzada es mucho más problemática en términos de eficiencia hidráulica (arroyo de la Boguera, Bustillo del Páramo, León).

5. Seguimiento y mantenimiento, permitiendo, en la medida de lo posible, que el desarrollo temporal de los procesos fluviales asiente las actuaciones, favoreciendo procesos continuados –y monitoreados- de mejora, frente a la realización de correcciones puntuales más agresivas sobre el medio.

A continuación se aporta una revisión crítica de los diferentes trabajos realizados en el marco de las obras de mantenimiento y conservación, en base a su vinculación con la dinámica natural. Ha de tenerse en cuenta que el carácter abierto de los ecosistemas fluviales limita la posibilidad de generalización de los argumentos aportados, siendo necesario matizarlos para cada caso concreto.

3. RECOMENDACIONES GENERALES

Deben tenerse en cuenta escrupulosamente las recomendaciones de seguridad y salud, teniendo muy presente que se trabaja con herramientas peligrosas, y muy habitualmente en lugares alejados de algún centro sanitario en el que poder tratar una emergencia.

El empleo de herbicidas se desaconseja completamente. La conexión con la corriente principal, directamente o por difusión a través del acuífero aluvial, implica su potencial incorporación al ciclo hidrológico. Se ha comprobado la incidencia del glifosato en la salud humana, por provocar trastornos en la fisiología enzimática (Samsel & Seneff, 2013a) que podría estar vinculada con diversas enfermedades metabólicas (Samsel & Seneff, 2013b). Respecto a su incidencia ambiental, se ha comprobado la alteración significativa del perifiton, que promueve la eutrofización de los cuerpos de agua (Vera, 2011; Vera *et al.* 2010; Pérez *et al.* 2007). El efecto es directo sobre las comunidades autótrofas, y se extiende a través de la cadena trófica. Aunque algunas especies superiores pueden resultar directamente afectadas. Relyea (2005) ha comprobado la afección a anfibios, constatando mortalidades de 96 – 100 % en renacuajos, y de entre 68-86% en fases post-metamórficas.

4. TRATAMIENTOS SELVÍCOLAS

Se incluyen en esta categoría trabajos sobre la vegetación de las riberas que incluyen desbroces, podas o apeo de árboles. Con ellos se pretende modificar la densidad del bosque de ribera, su estructura o su composición específica, con el objetivo de mejorar la eficiencia hidráulica del entorno del cauce en avenidas. Asimismo, en ciertos casos, se busca dar a este entorno un aspecto más ordenado o más acorde con cierto tipo de actividades recreativas. En el caso de apeo de ejemplares completos, o de poda de ciertas ramas, los trabajos pueden estar, sin embargo, más orientados a evitar desprendimientos o caídas, por tanto a evitar daños a las personas o sus bienes.

Es del máximo interés para la funcionalidad de los trabajos, la adecuada elección del momento de la realización del tratamiento.

Por una parte, a efectos de controlar el rebrote, el momento óptimo para los apeos y desbroces sería aquel en que las plantas aún no han trasladado al sistema radical sus reservas, esto es, antes del inicio de la parada vegetativa (figura 4).

En el caso de la poda, sin embargo, debe procurarse la pronta recuperación del daño infligido, por lo que el momento adecuado es el principio de la primavera, cuando las reservas se están empezando a movilizar y la mayor actividad fisiológica favorece la pronta cicatrización de las heridas.

Por ello podría ser conveniente desacoplar ambas labores, sin perder de vista la necesidad de armonizar el aumento en los costes de tal desacoplamiento con la eficacia de la labor.

Las especies de ribera son muy susceptibles al ataque de patógenos por habitar medios especialmente susceptibles al contagio, por ser más húmedos y con temperaturas más atenuadas que su entorno (Sterling, 1996; Broszofski *et al.*, 1997). Es especialmente grave el caso de la micosis causada por *Phytophthora alni* a los alisos (*Alnus glutinosa*). Por ello, en las labores de poda, o en los apeos de especies con capacidad de rebrote, se aconseja desinfectar las herramientas al pasar de un pie a otro. Puede ser suficiente

el lavado de la hoja de corte con lejía disuelta al 8% (COITAPAC, 1998), o con digluconato de clorhexidina al 5%, que evita el deterioro de la herramienta (Miranda y Fernández-López, en prensa).

Un aspecto a tener muy en cuenta en la realización de tratamientos selvícolas en los sotos de ribera es que, si se realizan con excesiva intensidad, pueden llegar a implicar un alejamiento significativo respecto a su configuración natural lo que puede provocar la pérdida de servicios ambientales.

Para el mantenimiento del máximo de las funciones ecológicas y servicios ambientales, en especial de aquellos relacionados con la calidad de las aguas y la estabilidad de los cauces, sería interesante la realización de los desbroces con intensidad inversamente proporcional a la distancia al cauce (Zenner *et al.* 2012). Es decir, dejar unas bandas sin apenas intervención en la cercanía del cauce, aumentando su intensidad conforme nos alejamos.

Además, habrá que considerar las épocas de cría de las especies animales presentes, especialmente de las aves nidificantes; y pronosticar la estructura y composición de la masa que resultará de las actuaciones, teniendo en cuenta que pueden condicionar la apetencia de su utilización por parte de la avifauna (Stauffer y Best, 1980).

Por último, cabe comentar el potencial que los trabajos selvícolas tienen para promover la sucesión vegetal a través de la apertura de huecos en las formaciones vegetales. Ello permite un mayor desarrollo de los ejemplares presentes, y el aumento de la complejidad de la comunidad vegetal por implantación de nuevas especies. Con este objetivo, los tratamientos se deberán hacer coincidir con los momentos de dispersión de las especies objetivo, y deberán considerarse las relaciones que vinculan a la capacidad de establecimiento del regenerado con las condiciones geomorfológicas de los emplazamientos –por ejemplo, su tendencia sedimentaria o erosiva, su posición respecto a la disponibilidad de agua subterránea, o su ubicación en relación a los flujos en avenidas–. Asimismo, no debe obviarse el riesgo

que tal apertura de huecos puede implicar respecto al establecimiento de especies oportunistas, como las zarzas (*Rubus spp.*) para lo que deberá evaluarse con suma cautela el grado de apertura del dosel, y la entrada de luz que supondrá.

4.1. Particularidades del desbroce.

Los desbroces consisten en la eliminación del estrato arbustivo o herbáceo. En el caso de los sotos de ribera, su objetivo fundamental es promover una mayor eficiencia hidráulica mediante la reducción de la rugosidad del cauce y las márgenes.

Las posibilidades genéricas de ejecución no varían respecto al desbroce en ambientes terrestres, pudiéndose plantear el desbroce mecanizado o bien manual. La especificidad puede provenir de los valores a proteger.

En general será aconsejable realizar una actuación de tipo selectivo, privilegiando a unas especies frente a otras, y dejando cierto porcentaje del terreno sin desbrozar. Esto permite mantener parte de cobertura sobre el suelo, lo que proporciona cierta protección frente a la erosión (figura 5), y algo de diversidad a las márgenes. Por ello, resulta más aconsejable la labor manual con desbrozadora de mochila.

4.2. Particularidades de la poda.

Se define la poda como la eliminación selectiva de ramaje con la finalidad de orientar la conformación del ejemplar.

Por la especial susceptibilidad al contagio por patógenos en las zonas de ribera, es importante conocer los mecanismos de defensa que presentan los vegetales, así como donde dónde se localizan, para disminuir el daño que se les puede ocasionar al realizar podas.

La estrategia que adoptan para hacer frente a las heridas es la compartimentación. El árbol aísla la zona afectada separándola del resto, transversalmente, reforzando los



Figura 5. El desbroce total de las márgenes hace que queden totalmente expuestas a la erosión durante las avenidas y contribuye a la generación de procesos de empobrecimiento ecológico del sistema (río Guadajira, Badajoz).

tabiques existentes mediante la actividad del cambium y, longitudinalmente, obstruyendo los vasos mediante distintos mecanismos (figura 6). En la base de las ramas se localiza un ensanchamiento, llamado collar o cuello, desde donde se ponen en marcha los mecanismos bioquímicos de defensa para frenar la invasión de organismos patógenos; entre ellos, la producción de defensas químicas fenólicas (figura 7). Por este motivo, es importante no dañar esta zona protectora. Si la albura del tronco quedara expuesta directamente al avance de la infección, el daño podría resultar muy severo.

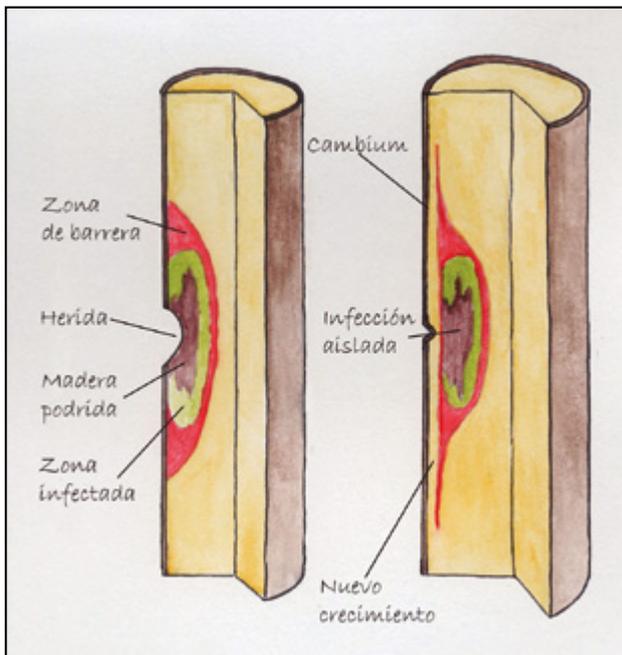


Figura 6. Izquierda: Esquema del sistema de compartimentación de heridas ante el ataque de organismos patógenos. Derecha: El mismo árbol en la siguiente estación de crecimiento. Fuente: Elaboración propia.

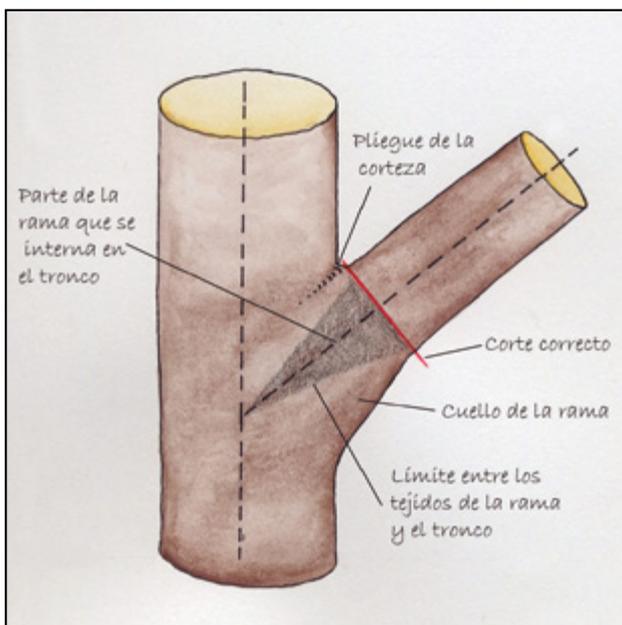


Figura 7. Esquema del corte a realizar correctamente sobre una rama viva, preservando el cuello de la rama, fuente de las sustancias químicas encargadas de la defensa frente a patógenos. Fuente: Elaboración propia.

En todos los casos, con la realización de la poda se ha de evitar que se produzca un desequilibrio entre la parte aérea y la raíz. Los cortes deben de ser limpios, para no desgarrar los tejidos del vegetal, en bisel, lo que evita que se acumule agua en ellos dificultando las pudriciones, y dejando a salvo el cuello de la rama.

Teniendo todo ello en cuenta, a continuación se aportan algunas recomendaciones respecto a los cortes:

- La zona ideal para el corte de una rama viva es el plano que une el exterior inmediato del pliegue de la corteza y la extremidad superior del cuello de la rama.
- El diámetro máximo aconsejable de los cortes que pueden realizarse depende de la eficacia del sistema de defensa del árbol en la compartimentación. Por la escasa capacidad de compartimentación en las especies de ribera más habituales - por ejemplo de sauces (*Salix* spp.), chopos (*Populus* spp.) y fresnos (*Fraxinus* spp.), o de abedules (*Betula* spp.) cuando forman parte de sotos- lo ideal es intervenir sobre ramas con un diámetro inferior a 5 cm (Drénou, 2000). Si el diámetro de corte es demasiado grande, ninguna técnica, por correcta que sea la ejecución, impedirá que se extienda la pudrición hacia el tronco.
- Cuando el corte se realice sobre ramas muertas, no se deberán afectar los tejidos vivos si ya se ha producido la cicatrización en torno a la parte muerta.
- Está completamente desaconsejada la realización de podas de “descabezado” del ejemplar, por cuanto suelen suponer la aparición desordenada de brotes epicórmicos - porte en “escoba de bruja” - o el rápido deterioro de la salud general del ejemplar (figura 8).
- Cuando se realiza la poda de las ramas bajas de la vegetación -operación conocida como “levantamiento de copa”-, con objeto de favorecer el paso del agua o el tránsito de personas o ganado, no se recomienda retirar más ramas de las correspondientes al tercio inferior del ejemplar (dejando, por tanto, un ratio de copa viva a altura completa de 2/3) para evitar su decaimiento, inestabilidad, o la aparición de defectos en el tronco (MDNR, 2012).
- La época ideal de poda es el inicio de la primavera porque la mayor actividad fisiológica de ese periodo promueve una rápida cicatrización de las heridas; además, como las reservas todavía se están movilizándose, su pérdida será menor. Aunque, como se ha comentado, en ocasiones se hace necesaria una armonización con el resto de labores selvícolas, se ha de procurar respetar esta prescripción en la medida de lo posible.

4.3. Particularidades del apeo

El apeo se practica fundamentalmente a árboles inclinados que pueden caer en el lecho, provocando acúmulos de vegetación muerta en el cauce. También se eliminan pies enfermos, muertos o decrepitos situados al borde del río, que amenacen la estabilidad de las orillas, o que puedan causar daños a las personas o las infraestructuras, o



Figura 8. Descabezado de ejemplares maduros de chopo (*Populus nigra*) en el río Ésera (Huesca). Se trata de un tipo de intervención muy negativo para la vegetación, que produce la muerte de la parte alta del ejemplar que no ha sido eliminada por la corta, la aparición de brotes epicórmicos y el deterioro progresivo de su estado general.



Figura 9. El apilado en zona inundable ha coincidido con una avenida, las trozas han sido arrastradas aguas abajo, y algunas han atascado uno de los ojos de un puente (río Órbigo, Cebrones del Río, León).

suponer un problema sanitario para la formación de ribera. Aún en estos casos no debieran ser sistemáticamente apeados, sino tras el análisis de cada situación particular, que habrá de tener en cuenta las funciones que están cumpliendo en el ecosistema fluvial. Además, debe valorarse la posibilidad de que su retirada, por el contrario, favorezca la erosión de la margen en la que se encuentran, cuando suponen el único anclaje del terreno.

A continuación se aportan una serie de recomendaciones respecto al apeo:

- El apeo, y las diferentes tareas colaterales, deberán realizarse minimizando los daños sobre el resto de pies. En casos de riesgo, se realizarán apeos diri-

gidos mediante cuerdas, cuñas y cortes específicamente indicados para este fin. En la saca podría llegar a plantearse el empleo de tracción animal, por ejemplo en espacios protegidos con sotos de alto valor ecológico. Respecto al apilado, se habrán de seleccionar ubicaciones que minimicen los daños a la vegetación presente, el riesgo de incendio, o el arrastre en avenidas en inundaciones, especialmente si van a quedar en la zona de corta por periodos largos (figura 9).

- El apeo deberá realizarse con un corte limpio, efectuado a ras de suelo, a una altura nunca superior a 10 cm sobre el suelo, y de forma paralela a la pendiente de la orilla (figura 10).



Figura 10. Ejemplo de apeo bien ejecutado (Fuente: Elaboración propia).

- En cuanto a la época preferible para realizar el apeo, deberán tenerse en cuenta las épocas de nidificación de las aves. En el caso de que se extraigan pies vivos, se debe valorar entre la conveniencia de hacerlo en época de reposo, para minimizar el volumen de los residuos a extraer, o al final del periodo vegetativo, para limitar al máximo la capacidad de rebrote.
- Una vez realizado el apeo, y en caso de que se proceda al destocoado de los ejemplares, debe evitarse en lo posible la utilización de maquinaria pesada por sus efectos adversos sobre la calidad de los suelos ribereños. En determinados casos, puede incluso plantearse la realización de destocoados biológicos,

consistentes en la inoculación de micelio de hongos asociados a especies de ribera. Esta medida puede además tener su significación recreativa, si los hongos inoculados tienen interés culinario; o incluso económica, si tiene valor comercial.

5. RETIRADA DE TAPONES EN CAUCE

Las razones para la retirada de aglomeraciones de restos vegetales muertos en cauce son, fundamentalmente, su afección a infraestructuras hidráulicas, y que fomentan la inundación por elevación de la lámina de agua.

Sin embargo, los grandes restos de vegetación caídos al cauce son un constituyente estructural más de los ecosistemas acuáticos. Fomentan la diversidad morfológica e hidráulica en los cauces, contribuyendo a la diversidad de sus hábitats, e influyen en numerosos procesos ecológicos (Brooks y Brierly, 2003; Montgomery *et al.* 2003; Abbe y Montgomery, 1996; Montgomery *et al.* 1996). Por ello su retirada sistemática promueve la degradación de los ecosistemas fluviales (figura 11).

Además, en base a su funcionalidad ecológica aportan servicios ambientales. Promueven la estabilidad de los cauces por aumento de su rugosidad, con lo que disminuyen la capacidad erosiva de la corriente. Promueven la elevación de la lámina de agua, lo que contribuye a la laminación de avenidas.

Por tanto, desde la perspectiva de la gestión del riesgo de inundaciones, tendría efectivamente sentido la retirada de aquellos restos que puedan provocar la elevación de la lámina de agua en las inmediaciones de áreas urbanas o con infraestructuras que sea necesario defender, pero sería contraproducente en zonas con usos del suelo compatibles con la inundación.

Entre las principales recomendaciones de operación cabe citar las siguientes:



Figura 11. Los restos vegetales han fomentado la diversificación del régimen de velocidades, junto a una zona de flujo más rápido en la zona inmediatamente a la izquierda del obstáculo, aparece a su izquierda una zona de aguas más lentas que ha favorecido la formación de una barra de gravas. A la derecha del obstáculo se ha generado una zona de flujo más lento y somero que ha promovido la implantación de *Ranunculus aquatilis* (río Sil, Valiña, León).

- La retirada deberá estar bien planificada, evaluando las consecuencias aguas arriba y abajo. En general se deberá proceder de forma selectiva, retirando únicamente los restos que objetivamente estén causando problemas.
- En ciertas ocasiones se puede acompañar su funcionalidad ecológica con la mitigación de su potencialidad para provocar daños mediante: su reubicación, su reorientación en una dirección menos problemática respecto al sentido de la corriente, o su retirada parcial.
- Si el ejemplar se mantiene vivo, se puede valorar la posibilidad de su recolocación en la margen, en algún punto en que se considere necesario fortalecer la estabilidad de esta.
- Se deberán tener en cuenta las consideraciones realizadas en el apartado correspondiente a apeos respecto a la minimización de daños a la vegetación presente en las márgenes, y a las condiciones de apilado.

6. ELIMINACIÓN DE VEGETACIÓN ACUÁTICA

La presencia de vegetación acuática en los cauces (carriños, espadañas, etc.) es percibida con mucha frecuencia como foco de insalubridad, en otros casos con su eliminación se busca mejorar la capacidad de desagüe del cauce para evitar problemas de inundación.

Lo cierto es que la vegetación acuática contribuye de forma muy significativa en el proceso de autodepuración de los cauces (Bentley *et al.*, 2014; Lovett y Price, 2007). Que debido a su flexibilidad, su presencia no aumenta significativamente el riesgo de inundación (Huthoff, 2013; Kavvas *et al.* 2009; Kubrak, 2008; Wu *et al.*, 1999; Fathi-Moghadam y Kouwen, 1997), y que protege el lecho frente a la erosión.

Cuestión aparte sería la gestión de especies de macrófitas invasoras, pero será tratado específicamente en el apartado VIII.

La presencia de vegetación herbácea emergente en el cauce, es la mera respuesta a las condiciones ecológicas que gobiernan el tramo afectado. Como éstas, efectivamente, pueden estar sensiblemente degradadas, su proliferación puede llegar a alcanzar niveles problemáticos, y que tenga sentido plantear alguna actuación.

En todo caso, la mejor opción será siempre actuar sobre las causas, revirtiéndolas, o no entorpeciendo los procesos que ya estén en marcha para su atenuación, muy especialmente la recolonización de las márgenes por vegetación de ribera que proyecte su sombra sobre el cauce. Por la misma razón, una posibilidad de actuación sería fomentar esta recolonización.

Dado que las técnicas químicas están desaconsejadas (ver apartado III), la única alternativa viable es su control mecánico mediante corte y extracción, bien con medios mecánicos pesados, o mediante técnicas más blandas, como corte con desbrozadora de mochila y acarreado manual.

Resulta aconsejable realizar las labores de forma parcial -por ejemplo limitándose a eliminar la vegetación de la parte central del cauce- para no desestabilizar en exceso el lecho y las márgenes; y en la medida de lo posible,

de forma selectiva, respetando especies o ejemplares de interés.

En cauces regulados, o con detración de caudales, la proliferación excesiva puede deberse a la alteración del régimen natural. La implantación de un régimen de caudales ambientales, con caudales de mantenimiento que reproduzcan fenómenos de avenida, puede ser un potente mecanismo de control.

En todo caso, se trata de una labor poco recomendable por su escasa utilidad, dado que la vegetación herbácea vuelve a colonizar el cauce en plazos realmente breves. Por ello, antes de afrontarla, debe evaluarse la posibilidad de actuar sobre las causas ecológicas de la proliferación (figura 12), como forma de control más duradera, y por tanto más eficiente en términos económicos.

7. DRAGADO

El objetivo del dragado suele ser el incremento de la protección frente a inundaciones, la mejora de la navegabilidad, o el drenaje de tierras agrícolas. Otros objetivos pueden ser el desarrollo de actividades recreativas o la creación de canales artificiales. Aunque se trata de una técnica utilizada desde antiguo, hoy en día numerosos autores y entidades consideran que los dragados, aunque pueden reducir en determinados casos el nivel de las aguas y la duración de las inundaciones, no suponen en general una solución duradera, ni ambientalmente sostenible.

Los ríos dragados suelen requerir un mantenimiento continuado, ya que el transporte sedimentario conlleva inevitablemente la llegada desde aguas arriba de nuevo material. Además los ríos tienden a reajustar su configuración, por lo que el dragado es desencadenante de procesos de erosión y sedimentación difíciles de prever y gestionar. Por ejemplo: una intensa erosión remontante, re-sedimentación en la zona dragada o aguas abajo, desconexión del lecho con las zonas ribereñas, descensos del nivel freático, o socavación de estructuras hidráulicas (figura 13) (Wishart *et al.*, 2008; Gob *et al.*, 2005; Rinaldi *et al.*, 2005; Rovira *et al.*, 2005; Sear & Archer, 1998; Kondolf, 1994, Lagasse, 1986). Todo ello compromete su eficiencia económica.

Por lo que respecta a sus efectos ecológicos, se ha constatado su drástica afección a los hábitats fluviales, las redes tróficas, o las interacciones ecológicas en la zona hiporréica (Kondolf *et al.*, 2002; Norman *et al.*, 1998; Cote *et al.*, 1999; Mann, 1996). Muy especialmente por la retirada de materiales sedimentarios de tamaño asociado a los requerimientos de microhábitat de las diferentes especies piscícolas o de macroinvertebrados.

Recomendaciones de operación

En algunas ocasiones, y en general fruto de una inadecuada política de ordenación territorial, los dragados son necesarios para aumentar la capacidad de desagüe de ciertos tramos cuyo desbordamiento podría provocar daños a infraestructuras. En dichos casos es posible minimizar sus efectos ambientales negativos, o mejorar su escasa eficiencia, mediante la adopción de las siguientes recomendaciones:



Figura 12. Secuencia temporal en el arroyo La Oncina a su paso por la localidad de Santovenia de la Valduncina (León), antes de la actuación de eliminación de espadañas, tras los trabajos, y un año después; las espadañas han recolonizado el cauce. La actuación no ha modificado la situación precedente.



Figura 13. Tras la realización de un dragado para el mantenimiento de las condiciones de desagüe de un puente, la deposición de nuevo material en los ojos centrales ha restado eficacia a la actuación. Además ha provocado la concentración del flujo en una de las márgenes (al fondo de la imagen), causando el socavamiento del estribo en toda su longitud (río Curueño, Barrio de Nuestra Señora, León).

- Las operaciones de dragado deben ser consecuencia de un proceso integrado de planificación que haya valorado la posibilidad de otras alternativas.

Se ha de realizar una evaluación hidrogeomorfológica, hidráulica, ambiental y socioeconómica detallada del problema sobre el que se pretende actuar, y que debe incluir en todo caso: el análisis de las causas, la evaluación de la funcionalidad hidráulica y ambiental de cada una de las posibles soluciones, un análisis escrupuloso del coste-beneficio de las diferentes alternativas, y en base a todo ello, seleccionar el enfoque óptimo. Entre los que se debe valorar la Gestión Natural de Inundaciones (Spray et al., 2009), o las Medidas Naturales para la Retención del Agua (NWRM), que al estar fundamentadas en los procesos hidrológicos y geomorfológicos naturales, y en las condiciones propias de cada río, permiten un manejo más eficiente y sostenible de los caudales de avenida.

- En todo caso, habrán de identificarse los lugares que cuenten con alguna figura de protección, y los que albergan hábitats o especies considerados vulnerables o amenazados, evitando o minimizando en ellos las operaciones de dragado.

Así como considerar los ciclos biológicos de las especies piscícolas presentes, evitando en todo caso la realización del dragado durante la época de freza y emergencia de alevines. Habrá que considerar igualmente los requerimientos ecológicos de otras especies de flora y fauna importantes en el contexto del ecosistema fluvial.

- Una vez definido el lugar y técnica más apropiados para la extracción, se habrá de minimizar el área de intervención. En lo posible, se retirará solo sedimento seco, y sólo el volumen necesario para paliar el problema existente. No debe optarse por

la retirada de sedimento adicional al inicialmente evaluado con la idea de evitar un próximo re-dragado, la mayor desestabilización inducida al sistema con este aumento podría acarrear mayores problemas.

Ello implica que si el dragado se realiza sobre barras o islas de sedimento seco, es conveniente remover tan solo capas superficiales. Se debe evitar además que se formen pozas aisladas de la corriente principal, en las que pueden acumularse contaminantes, constituirse en trampas para especies acuáticas, o incrementar la inestabilidad del cauce en avenidas.

- El acercamiento a la superficie del nivel freático que se producirá en las barras o islas reconfiguradas puede interactuar con la vegetación acuática y ribereña, favoreciendo su colonización (Magdaleno y Fernández-Yuste, 2013), y provocando una degradación neta de la capacidad de desagüe a consecuencia de la actuación. En este sentido, resulta interesante respetar la presencia de árboles en las márgenes que controlen esta colonización con su efecto de sombreado.
- La forma de realización del dragado debe evitar la formación de escalones en el lecho, fuertes pendientes a lo largo del lecho y márgenes, o acumulaciones de los materiales dragados en las márgenes.

Igualmente se debe evitar la extracción de los materiales sedimentarios gruesos que protegen al lecho frente a la habitual incisión post-dragado.

En la medida de lo posible resulta más aconsejable la realización de un dragado parcial – que genere un lecho en dos niveles–, ya que facilita la evacuación del material entrante, por la mayor velocidad de la corriente en su parte más profunda, y permite la existencia de una cierta diversidad ecomorfológica en el conjunto del cauce (figura 14).

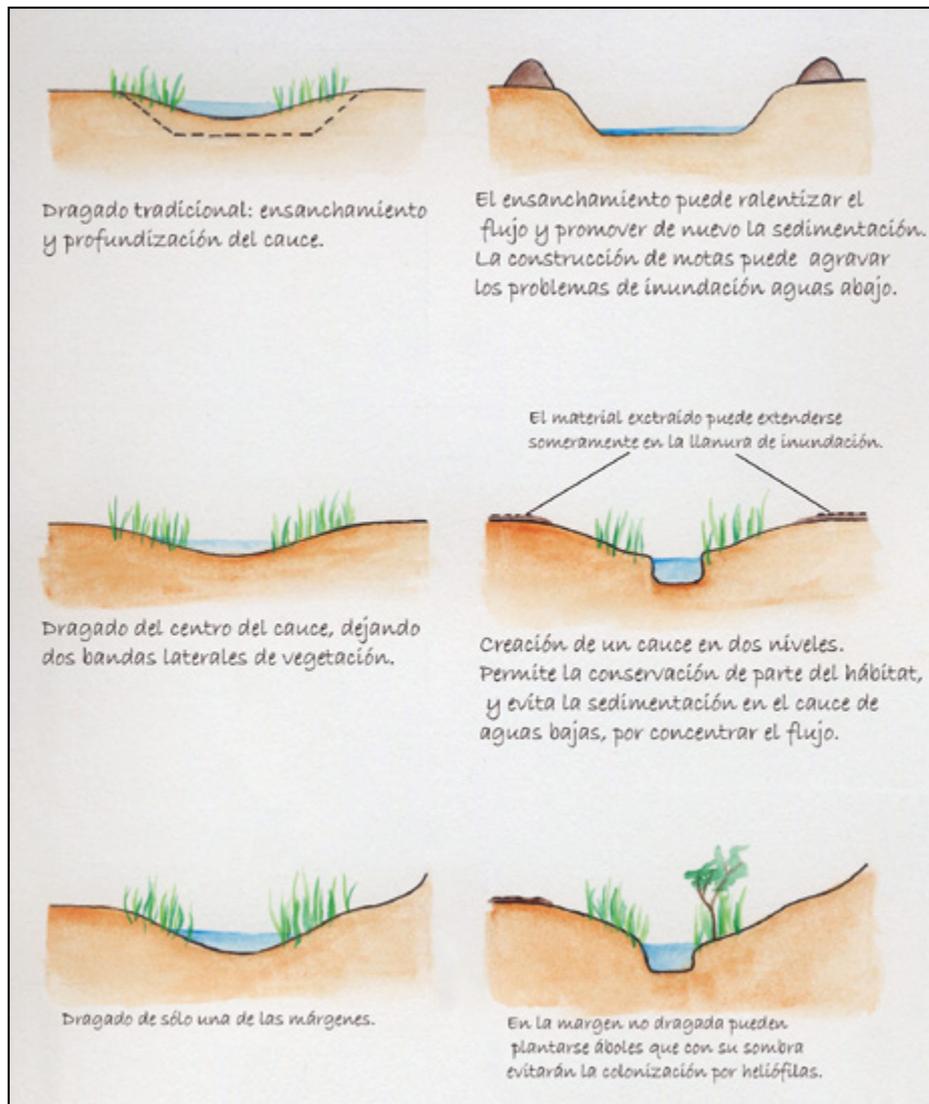


Figura 14. Contraposición de diferentes opciones de dragado: (arriba) solución consistente en el dragado de toda la sección del cauce, y la constitución de diques longitudinales con el material extraído, frente a la mejor opción (centro y abajo) consistente en el dragado de la parte central y la extensión del material extraído en la llanura de inundación, como resultado se obtiene un cauce en dos niveles con una mayor complejidad geomorfológica. Fuente: adaptado de SEPA (2010).

Otra medida que contribuye a la persistencia de una cierta funcionalidad eco-hidro-morfológica es el mantenimiento de barras alternas de sedimentos, dado que atenúa la artificialidad del lecho y permite la ocurrencia de una cierta dinámica geomorfológica.

- Se han de planificar adecuadamente las operaciones de traslado y deposición de los sedimentos extraídos, bien si su destino es la llanura de inundación del propio río, o alguna zona ajena al medio fluvial, evitando que su presencia genere una mayor inestabilidad del sistema.

No es aconsejable bajo ningún concepto la constitución de diques longitudinales, o motas, que supongan encauzamiento del tramo dragado, por cuanto trasladan los problemas de inundación aguas abajo, y magnificados. Se podría plantear, no obstante, la constitución de estos diques alejados del cauce; cuanta mayor sea la distancia al cauce, menor será la restricción al fenómeno de laminación de avenidas que supondrán.

Se debería valorar la posibilidad de traslado a otros tramos de río dónde se constaten problemas de déficit de sedimentos. Para llevar a cabo dicha operación se habrá de tener en consideración la existencia de especies invasoras en el tramo de origen.

8. GESTIÓN DE ESPECIES VEGETALES INVASORAS

El criterio de manejo de especies macrófitas alóctonas invasoras, una vez que se ha producido su establecimiento, es el mantenimiento de su presencia por debajo de niveles que supongan afección económica o ambiental, y la prevención de su expansión hacia nuevas áreas.

Las dos especies invasoras que más problemas han generado en los últimos años en España son el jacinto de agua (*Eichornia crassipes*), y sobre todo la caña común (*Arundo donax*).

Nos centraremos en esta última dado que por su especial incidencia y complejidad, puede constituir un buen ejemplo para el tratamiento de otras. Para la selección del

método de erradicación deben ser tenidos en cuenta: la biología de la especie, las interacciones de competencia que se pueden establecer con las especies autóctonas, y los efectos adversos del propio tratamiento sobre las comunidades de flora y fauna que se asientan en su entorno (Deltoro *et al.* 2012; Magdaleno, 2008).

A pesar de lo comentado en apartados precedentes respecto al uso de métodos químicos de control de la vegetación, el carácter expansivo de las especies invasoras, y el grado de degradación infligido a los medios en que se asientan, podría justificar su utilización. En todo caso, su uso debería formar parte de un sistema gestión integral que combine diferentes técnicas, biológicas, químicas, mecánicas y culturales. Resulta de especial interés el fomento de la competencia por parte de la vegetación autóctona, ya sea mediante tratamientos culturales, o por plantación (FIWC, 2000; Deltoro *et al.*, 2012). Esto asegura la eficacia del tratamiento, dado que evita, o atenúa, la capacidad de recolonización por parte de las cañas.

Respecto a la eliminación, Deltoro *et al.* (2012) han ensayado con resultados satisfactorios diferentes técnicas. Las técnicas mecánicas requirieron la extracción del rizoma para evitar el rebrote, lo que expone el lecho removido a la erosión (figura 15). Las técnicas químicas evitan este peligro, pero pueden resultar ambientalmente muy agresivas en medios acuáticos. Existe la alternativa de aplicación directa del herbicida a los pies de caña tras siega, lo que mitiga el daño ambiental, a la par que encarece la labor. Se remite al lector interesado al trabajo de Deltoro *et al.* (2012), citado recurrentemente en este epígrafe, para ampliar información al respecto.

9. CONCLUSIONES

Como conclusión, se exponen una serie de líneas generales de gestión que, basadas en los aspectos funcionales del ecosistema fluvial, y con el objetivo de maximizar la provisión de servicios ambientales, influyen en los trabajos de mantenimiento y conservación de cauces.

- Se considera que la gestión fluvial debe estar orientada al restablecimiento de los procesos fluviales naturales; lo que en determinadas circunstancias aconsejará no actuar y dejar que sean estos procesos los que restablezcan el equilibrio, si bien en otras, la medida más adecuada consistirá en revertir las causas que alejan al cauce del equilibrio. En otras situaciones, en fin, cuando el sistema ha entrado en una dinámica de inestabilidad, se justificará la realización de algunas actuaciones que tiendan a acelerar la recuperación.
- No obstante, hay muchos aspectos de esta dinámica que no han sido todavía convenientemente estudiados. Por ello, un segundo principio de la gestión sería la adopción de una orientación conservadora, y una puesta en práctica adaptativa, con seguimiento escrupuloso de sus resultados para detectar derivas indeseadas y poder plantear medidas correctoras cuando aún sea posible.
- En base a ello, una correcta gestión fluvial exigirá la elaboración de un plan de gestión con una perspectiva amplia (figura 16). Espacialmente, deberá extenderse a escala de cuenca, o en todo caso a tramos amplios del río. Temporalmente, la solución adoptada tiene que evaluar las prácticas de gestión del pasado para juzgar cabalmente la situación presente, así como sondear las perspectivas futuras, incorporando, en la medida de lo posible, las consideraciones oportunas respecto al escenario de cambio climático. Una perspectiva amplia tanto en sentido espacial como temporal permite hacerse cargo de la compatibilidad de los usos del suelo con la dinámica fluvial, y posibilita llegar a una solución de compromiso que armonice ambos aspectos.
- Otro aspecto relevante es la necesidad de definición del concepto “Conservación y mantenimiento de cauces”, dada la extrema dispersión del tipo de actuaciones referidas como tales, y su heterogénea relación con lo que pueda considerarse conservación o mantenimiento, tanto en términos ecológi-



Figura 15. Eliminación de caña común mediante métodos mecánicos y dragado parcial del cauce (río Guadiana, Badajoz).



Figura 16. El enfoque adecuado para el planteamiento de las obras conservación y mantenimiento es su inclusión en planes de gestión a escala de cuenca, o de tramos amplios de los ríos. Dicho enfoque es el que permite hacerse cargo de las interrelaciones entre las diferentes partes del río, y diseñar las actuaciones en sintonía con la dinámica natural, lo que asegura su efectividad.

cos, como puramente hidráulicos. Quizá el marco óptimo para tal definición sean los Planes de gestión de cuenca, en los que se asigna de forma genérica considerables partidas presupuestarias a este tipo de obras, con objetivos no siempre claros, y resultados desiguales.

- Para concluir, invitamos al lector interesado en una exposición más detallada de los argumentos expuestos en el presente artículo a la consulta del manual “Buenas prácticas para el mantenimiento y conservación de cauces” (Cabrero y Magdaleno, 2014) .

10. REFERENCIAS

Abbe, T.B. y Montgomery, D.R. (1996). Large woody debris jams, channel hydraulics and habitat formation in large rivers. *Regulated Rivers: Research and Management*, vol. 12, 201 – 221.

Barredo, J.I. (2009). Normalised flood losses in Europe: 1970 - 2006. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 9: 97-104.

Bentley, S., Brady, R., Cooper, J., Davies, K., Hemsworth, M., Robinson, P. y Thomas, L. (2014). *Aquatic and riparian plant management: controls for vegetation in watercourses*. Technical Guide. Environment Agency. Bristol, Reino Unido.

Brooks, A.P., Briery, G.J. y Millar, R.G. (2003). The long term control of vegetation and woody debris on channel and floodplain evolution: insights from a paired catchment study in southeastern Australia. *Geomorphology*, vol. 51: 7-29.

Brosofske, K.D., Chen, J., Naiman, R.J. y Franklin, J.F. (1997). Harvesting effects on microclimatic gradients from small streams to uplands in Western Washington. *Ecological Applications*, vol. 7: 1188 – 1200.

Cabrero, A. y Magdaleno, F. (2014). *Buenas prácticas para el mantenimiento y conservación de cauces*. Monografía CEDEX M-123. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento. Madrid.

Cote, I.M., Vinyoles, D., Reynolds, J.D., Doadrio, I. y Perdices, A. (1999). Potential impacts of gravel extraction on Spanish

populations of river blennies *Salaria fluviatilis* (Pisces, Blenniidae). *Biological Conservation*, vol. 87, nº 3: 359-367.

Deltoro, V., Jiménez, J. y Vilán, X.M. (2012). *Bases para el manejo y control de Arundo donax L. (Caña común)*. Colección Manuales Técnicos de Biodiversidad, 4. Conselleria d’Infraestructures, Territori i Medi Ambient, Generalitat Valenciana. Valencia.

Drénou, C. (2000). La poda de árboles ornamentales: del porqué al cómo. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

Fathi-Maghadam, M. y Kouwen, N. (1997). Nonrigid non-submerged, vegetative roughness on floodplains. *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 123, nº 1: 51 – 57.

Gob, F., Houbrechts, G., Hiver, J.M. y Petit, F. (2005). River dredging, channel dynamics and bedload transport in an incised meandering river (the River Semois, Belgium). *River Research and Applications*, vol. 21, nº 7: 791-804.

Huthoff, F., Straatsma, M.W., Augustijn, D.C.M. y Hulscher S.J.M.H. (2012). Evaluation of a simple hydraulic resistance model using flow measurements collected in vegetated waterways. *Open Journal of Modern Hydrology*, vol. 3: 28-37.

Kavvas, L.M., Chen, Z.Q.R. y Tan, E. (2009). *Study of the roughness characteristics of native plant species in California floodplain wetlands*. Department of Water Resources. Sacramento, Estados Unidos.

Kondolf, G.M. (1994). Geomorphic and environmental effects of instream gravel mining. *Landscape and Urban Planning*, vol. 28: 225–243.

Kondolf, G.M., Smeltzer, M. y Kimball, L. (2002). *Freshwater Gravel Mining and Dredging Issues*. Washington Department of Fish and Wildlife, Washington Department of Ecology, Washington Department of Transportation. Seattle, Estados Unidos.

Kubrak, E., Kubrak, J. y Rowinski, P.M. (2008). Vertical velocity distributions through and above submerged flexible vegetation. *Hydrological Science Journal*, vol. 53, nº 4: 905-920.

Lagasse, P.F. (1986). River Response to Dredging. *Journal of Waterway, Port, Coastal, Ocean Engineering*, vol. 112, nº 1: 1–14.

Lara, A., Saurí, D., Ribas, A. y Pavón, D. (2010). Social perceptions of floods and flood management in a Mediterranean

area (Costa Brava, Spain). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 10: 2081 – 2091.

Lovett, S. y Price, P. (Eds) (2007). *Principles for riparian lands management*. Land & Water Australia, Canberra, Australia.

Magdaleno, F. (2008). *Manual de técnicas de restauración fluvial (2ª ed.)*. Monografía CEDEX. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento. Madrid.

Magdaleno, F. y Fernández-Yuste, J.A. (2013). Evolution of the riparian forest corridor in a large mediterranean river system. *Riparian Ecology and Conservation*, vol. 1: 36-45.

Mann, R.H.K. (1996). Environmental requirements of European non-salmonid fish in rivers. *Hydrobiologia* vol. 323, nº 3: 223-235.

(MDNR) Maryland Department of Natural Resources. (2012). *The Green Book for the Buffer. An Illustrated Guidebook for Planting at the Shoreline*. DNR Publication Number 10 - 8292012-601. Maryland Department of Natural Resources, Critical Area Commission for the Chesapeake and Atlantic Coastal Bays. Maryland, Estados Unidos.

Miranda, M.E. y Fernández-López J. (En prensa). *A cerdeira de orixe galega para madeira*. Xunta de Galicia Ed.

Montgomery, D.R., Abbe, T.B., Peterson, N.P., Buffington, J.M., Schmidt, K. y Stock, J.D. (1996). Distribution of bedrock and alluvial channels in forested mountain drainage basins. *Nature*, vol. 381: 587-589.

Montgomery, D.R., David, R., Collins, B.A., Buffington, J.M. y Abbe, T.B. (2003). *Geomorphic effects of wood in rivers*. En: Gregory, S.V., Boyer, K.L. y Gurnell, A.M. (Eds). *The ecology and management of wood in world rivers*. American Fisheries Society Symposium 37: 21-47.

Naiman, R.J., Décamps, H. y McClain, M. (2005). *Riparia. Ecology, conservation and management of streamside communities*. Elsevier / Academic Press, San Diego, Estados Unidos.

Norman, D.K., Cederholm, C.F. y Lingley, W.S. (1998). Flood plains, salmon habitat, and sand and gravel mining. *Washington Geology*, vol. 26: 3-20.

Pérez, G.L., Torremorell, A., Mugni, H., Rodríguez, P., Vera, M.S., do Nascimento, M., Allende, L., Bustingorry, J., Escaray, R., Ferraro, M., Izaguirre, I., Pizarro, H., Bonetto, C., Morris, D.P. y Zagarese, H. (2007). Effects of the herbicide Roundup on freshwater microbial Communities: a mesocosm study. *Ecological Applications*, vol. 17 nº 8: 2310-2322.

Relyea, R.A. (2005). The lethal impact of Roundup on aquatic and terrestrial amphibians. *Ecological Applications*, vol. 15, nº 4: 1118-1124.

Rinaldi, M., Wyzga, B. y Surian N. (2005). Sediment mining in alluvial channels: physical effects and management perspectives. *River Research and Applications*, vol. 21: 805-828.

Rovira, A., Batalla, R.J. y Sala, M. (2005). Response of a river sediment budget after historical gravel mining (the Lower Tordera, NE Spain). *River Research and Applications*, vol. 21: 829-847.

Samsel, A. y Seneff, S. (2013a). Glyphosate's suppression of cytochrome P450 enzymes and amino acid biosynthesis by the gut microbiome: pathways to modern diseases. *Entropy*, vol. 15, nº 4: 1416-1463.

Samsel, A. y Seneff, S. (2013b). Glyphosate, pathways to modern diseases II: Celiac sprue and gluten intolerance. *Interdisciplinary Toxicology*, vol.6, nº 4: 159-184.

Sear, D.C. y Archer, D. (1998). Effects of gravel extraction on stability of gravel-beds rivers: the Wooler Water, Northumberland, UK. En: Klingeman, P.C., Beschta, R.L., Komar, P.D. y Bradley, J.N. (Eds), *Gravel-bed Rivers in the Environment*: 415 - 432. Water Resources Publications. Highlands Ranch, Estados Unidos.

(SEPA) Scottish Environment Protection Agency. (2010). *Engineering in the water environment: good practice guide. Sediment management*. Stirling, Reino Unido.

Spray, C., Ball, T. y Rouillard, J. (2009). Bridging the water law, policy, science interface: flood risk management in Scotland. *Journal of Water Law*, vol. 20 nº 2-3: 165-174.

Stauffer, F. y Best, L.B. (1980). Habitat selection by birds of riparian communities: evaluating effects of habitat alterations. *The Journal of Wildlife Management*, vol. 44, nº 1: 1-15.

Sterling, A. (1996). *Los sotos. Refugio de vida Silvestre*. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid.

Vera, M.S. (2011). *Impacto del glifosato y algunos de sus formulados comerciales sobre el perifiton de agua dulce*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Argentina.

Vera, M.S. (2010). New evidences of Roundup® (glyphosate formulation) impact on the periphyton community and the water quality of freshwater ecosystems. *Ecotoxicology*, vol. 19, nº 4: 710-721.

Wishart, D., Warburton, J. y Bracken, L. (2008). Gravel extraction and planform change in a wandering gravel-bed river: The River Wear, Northern England. *Geomorphology*, vol. 94: 131-152.

Wu, F., Shen, H.W. y Chou, Y.J. (1999). Variation of roughness coefficients for unsubmerged and submerged vegetation. *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 125: 934-942.

Zenner, E.K., Olszewski, S.L., Palik, B.J., Kastendick, D.N., Peck, J.E. y Blinn, C.R. (2012). Riparian vegetation response to gradients in residual basal area with harvesting treatment and distance to stream. *Forest Ecology and Management*, vol. 283: 66-76.

MÁSTER EN MECÁNICA DEL SUELO E INGENIERÍA GEOTÉCNICA



La UNED y el CEDEX organizarán de forma conjunta en 2015 el Máster en Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica, dentro de la convocatoria de Formación Permanente.

Desde 2009 es Máster Universitario de título propio (de la UPM hasta 2011 y de la UNED desde 2012). El Máster ha logrado ser una referencia absoluta en España y en Iberoamérica como excelente formación de profesionales de la geotecnia.

PROGRAMA

Consta de **14 módulos**, de una semana de duración aproximadamente cada uno:

1. Mecánica del suelo básica (2,5 semanas)
2. Reconocimientos geotécnicos de campo
3. Mecánica de rocas
4. Cimentaciones superficiales
5. Cimentaciones profundas
6. Estabilidad de taludes
7. Estructuras de contención
8. Estructuras de tierra
9. Túneles
10. Mejora del terreno

11. Geotecnia de presas
12. Geotecnia medio ambiental y minera
13. Dinámica de suelos y de cimentaciones
14. Modelización numérica

El programa se completa con jornadas de Geotecnia Avanzada, distribuidas a lo largo del curso, que versan sobre:

- Geotecnia de estructuras costa afuera (off-shore)
- Geomecánica aplicada al del sector del gas y petróleo
- Fiabilidad geotécnica
- Modelos constitutivos
- Teoría del Estado Crítico
- Teoremas de estados límite
- Suelos no saturados
- Geotermia
- Licitación y evaluación técnico-económica de proyectos geotécnicos internacionales

El temario se refuerza con prácticas de laboratorio, de campo y de simulación en aula con códigos numéricos comerciales.

DESARROLLO DEL MÁSTER Y EVALUACIÓN

El Máster consta de un periodo lectivo, entre el 2 de febrero y el 8 de julio, de asistencia obligatoria, en cuyas clases se imparte el programa; y un periodo no lectivo, desde julio a octubre, durante el cual el alumno ha de desarrollar, bajo la tutela de un profesional del sector, una tesina que ha de defender ante un tribunal a finales de octubre. Las clases se imparten de lunes a viernes de 9:00 a 13:30 y, de 2 a 3 veces por semana, de 15:00 a 18:00 h. Se realiza una evaluación continua con ejercicios semanales y tres exámenes parciales.

LUGAR, COSTE Y CONDICIONES DE PREINSCRIPCIÓN

Las clases del Máster se impartirán en el aula del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX, situado en la c/ Alfonso XII, nº3, de Madrid (CP 28014), contándose también con otras instalaciones docentes del Gabinete de Formación del CEDEX (salón de actos, aula de informática y biblioteca).

El importe de la matrícula, incluyendo material didáctico, jornadas y las visitas técnicas, es de 6.000 €.

BECAS

Existe la posibilidad de acceder a becas y medias becas de matriculación, sufragadas por empresas del sector y otorgadas por la Fundación Agustín de Betancourt.

En noviembre de 2014 se publicará la oferta de becas disponibles. La concesión se regirá por criterios académicos (establecidos por el CEDEX en coordinación con la UNED) y profesionales (pautados por las empresas colaboradoras).

El CEDEX y la UNED podrán otorgar ayudas al estudio.