

# CENSO, TIPOLOGÍA Y PUESTA EN VALOR DE LOS CAUCES DE GRAVAS DEL PIRINEO CENTRAL Y SU PIEDEMONTE MERIDIONAL ♦

## CENSUS, TYPOLOGY AND VALUE-MAKING OF THE GRAVEL-BED RIVERS FROM THE CENTRAL PYRENEES AND ITS SOUTHERN PIEDMONT

Alfredo Ollero<sup>1\*</sup>, Vanesa Acín<sup>2</sup>, David Granado<sup>2</sup>, Jesús Horacio<sup>3</sup>, Askoa Ibisate<sup>4</sup>

1\* Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, c/ Pedro Cerbuna, 12, 50009, Zaragoza. Correo electrónico: aollero@unizar.es

2 ECOTER Ecología y Territorio S.C.

3 Laboratorio de Tecnología Ambiental. Instituto de Investigaciones Tecnológicas, Universidade de Santiago de Compostela. Campus Vida s/n, 15782, Santiago de Compostela, (Galiza, España).

4 Dpto. de Geografía, Prehistoria y Arqueología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, c/ Tomás y Valiente, s/n, 01006 Vitoria-Gasteiz.

### Resumen

Se trata de la fase inicial de un proyecto que busca la puesta en valor de los ríos en gravas, muy amenazados y en claro proceso de desaparición, siendo al mismo tiempo de alto valor patrimonial. Se presenta el censo y la propuesta preliminar de tipologías de los ríos de gravas en el Pirineo central aragonés. A partir de fotointerpretación se ha identificado un total de 224 tramos de cauces gravas que han sido analizados según las variables de longitud, superficie de cuenca hasta el tramo, anchura y colonización vegetal del tramo. Los datos de estas variables para cada tramo han sido comparados entre sí. A partir de las características específicas de los cauces de gravas en el área de estudio y las variables básicas analizadas se han identificado cuatro tipologías: torrentes y barrancos de montaña, cauces de barras mal definidas, cauces trenzados y cauces divagantes. En fases posteriores se abordará la evolución, así como los impactos y presiones que amenazan su pervivencia y faciliten la propuesta de medidas de conservación, protección y restauración.

Palabras clave: ríos de gravas; geomorfología fluvial; trenzados y divagantes; geodiversidad; Pirineos.

### Abstract

We show the first steps of a project that seeks the enhancement of the very threatened gravel-bed rivers in risk of disappearing, at the time of having a high geomorphological heritage value. A census and a preliminary typology of gravel-bed rivers in the central Pyrenees of Aragón are presented. A total of 224 gravel-bed reaches were identified through photointerpretation and their length, width, basin surface and riparian colonization was studied. The results of these variables were compared each other. Based on the specific characteristics of the gravel-bed rivers of the study area and the basic variables four typologies were identified: mountain gullies and ravines, streams with undefined bars, braided rivers and wandering rivers. In next phases of the study the evolution, as well as the impacts and pressures that endangered its continued existence, will be analyzed with the aim of proposing conservation, protection and restoration measures.

Keywords: gravel-bed rivers; fluvial geomorphology; braided and wandering; geodiversity; Pyrenees.

## 1. Introducción

Los cauces de gravas son tipos fluviales de máxima geo- y bio-diversidad (Beechie *et al.*, 2006; Piégay *et al.*, 2006), constituyendo un patrimonio natural de gran valor pero muy amenazado, al menos en el contexto europeo (Ollero, 2008). Los ríos aluviales de gravas, de notable anchura y abundante carga sedimentaria, están presentes en todas las áreas de montaña y piedemonte del planeta. Así, puede afirmarse que el sistema de evacuación y transporte de sedimentos desde una zona montañosa hasta áreas de llanura está constituido por cursos fluviales de gravas, que en muchas ocasiones alcanzan morfologías trenzadas.

Este tipo de ríos ha asistido a importantes cambios hidromorfológicos y ecológicos en las últimas décadas como consecuencia del cambio global y de los embalses (Ollero, 2011). De acuerdo con la Directiva Europea del Agua 2000/60/CE, esto constituye un deterioro en el estado ecológico de las masas de agua afectadas y supone, también, una grave pérdida de patrimonio geomorfológico y de geodiversidad. En general, se está asistiendo a intensos y rápidos procesos de estrechamiento, simplificación, estabilización y colonización vegetal, muchas veces acompañados de incisión. La consecuencia de esta nueva dinámica se traduce en una paulatina desaparición de los modelos

♦ **Datos procesamiento artículo**

Recibido: 16 de noviembre de 2016

Revisado: 11 de enero de 2017

Aceptado: 25 de enero de 2017

trenzados, que van siendo sustituidos por estilos simples sinuosos (Bravard y Peiry, 1993). La pérdida de modelos trenzados ha sido ampliamente tratada, especialmente en los Alpes, donde se cuenta con documentos cartográficos que permiten retroceder dos siglos atrás. Piégay *et al.* (2009) han evaluado una pérdida superficial global del 53% en 200 años por canalizaciones, y otro 17% por factores de cuenca.

El interés científico por los ríos de gravas es muy alto, tanto desde la geomorfología como desde la ingeniería y la ecología, como demuestra la abundante bibliografía internacional sobre “gravel-bed rivers” y los 8 simposios internacionales celebrados hasta 2015. El funcionamiento de este tipo de cursos fluviales, su evolución y problemáticas actuales ha sido muy estudiado pero, sin embargo, no existen catálogos exhaustivos de su extensión y representatividad en el territorio. El trabajo de Piégay *et al.* (2009), con un censo de distribución para los cursos de gravas alpinos franceses, constituye una singularidad en esta línea.

En los cauces pirenaicos aragoneses (Fig. 1) se han analizado con mucho detalle los efectos hidrológicos de los embalses y de cambios ambientales y de usos del suelo en las cuencas (García Ruiz *et al.*, 2001, Beguería *et al.*, 2003, Batalla *et al.*, 2004, López Moreno, 2006; López Moreno *et al.*, 2006, 2008), pero en menor medida las consecuencias geomorfológicas de los mismos. Los estudios geomorfológicos en cauces de montaña mediterránea se remontan a diferentes proyectos del Instituto Pirenaico de Ecología (García Ruiz y Puigdefábregas, 1985; García Ruiz *et al.*, 1987, García Ruiz y Ortigosa, 1988; Martínez Castroviejo *et al.*, 1990, 1991; Gómez Villar y Martínez Castroviejo, 1991; Gómez Villar *et al.*, 1994), destacando también las tesis doctorales de Gómez Villar (1996) en conos aluviales y de Rubio (1995) en las barras del río Ara. Rubio y Hernández (1990) analizaron la evolución del curso bajo del Ara. En algunos trabajos más recientes (Beguería *et al.*, 2006; García Ruiz *et al.*, 2010) se constató el proceso de cambio en los cauces en relación con sus principales factores (reducción de la escorrentía, revegetación de las cuencas, embalses, etc.), si bien no se aportan cartografías ni datos superficiales procedentes de fotointerpretación. Mediciones de las variaciones superficiales en cauces y llanuras de inundación se han realizado en estudios inéditos de Acín (2004), Granado (2004) y Acín *et al.* (2006). También ha habido interés por evaluar los aportes sedimentarios en las cuencas vertientes a embalses (Valero *et al.*, 1999; López Moreno *et al.*, 2003; Beguería, 2005; Navas *et al.*, 2008) y se ha valorado el déficit sedimentario aguas abajo de presas y en relación con extracciones de gravas (Batalla, 2003; Martín Vide *et al.*, 2010).

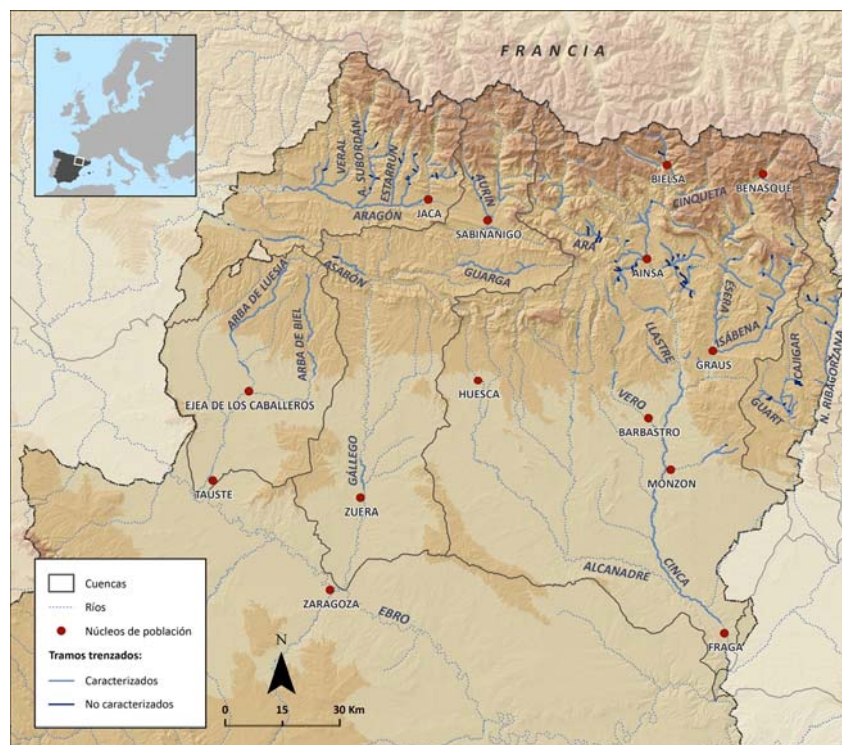


Figura 1. Área de estudio y tramos de cauces de gravas. Base: CHE. Elaboración: ECOTER S.C.

La presente investigación está motivada por la necesaria y urgente puesta en valor, conservación y protección de los cauces de gravas. Con este estudio se ahonda sobre la realidad geomorfológica cada vez más singular, valiosa y bajo amenaza de extinción de parte de los cauces de gravas del Pirineo central aragonés (Fig. 1). Los resultados aquí alcanzados pueden emplearse para paliar los múltiples impactos que sufren los ríos de gravas e incrementar el aprecio de la sociedad por estos sistemas naturales. Este estudio constituye una primera fase de trabajo en la que se ha abordado el inventario y localización de todos los cauces de gravas supervivientes de la margen izquierda de la cuenca del Ebro (dentro de los límites administrativos de Aragón). Son cauces de las cuencas de los ríos Aragón, Arba,

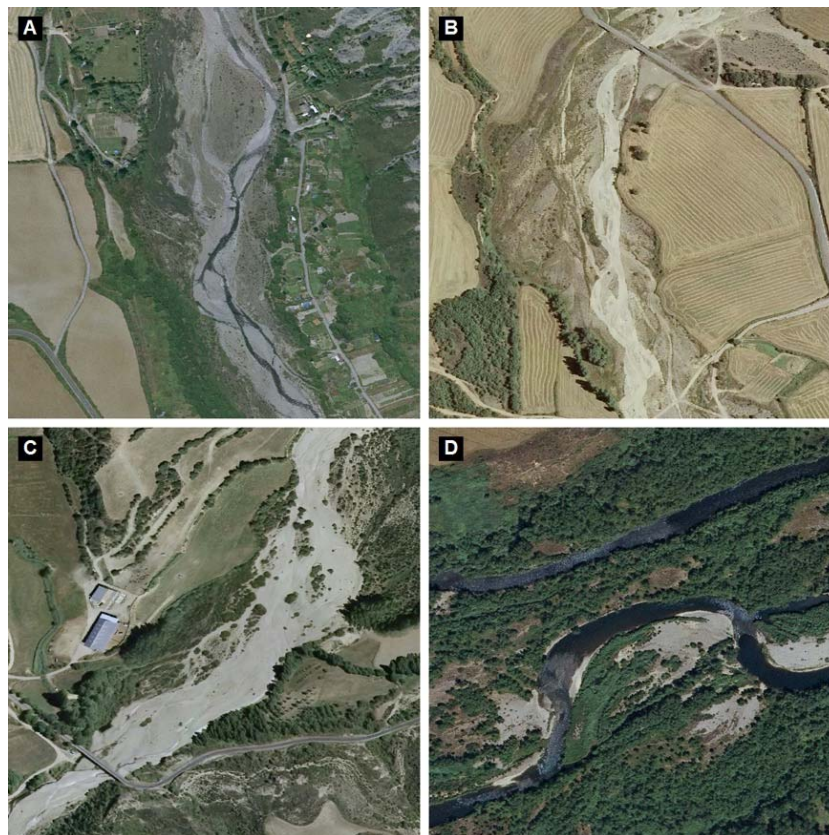
Gállego, Cinca y Noguera Ribagorzana (los dos últimos afluentes del Segre) y de sus diferentes afluentes. No hay en este ámbito geográfico ríos de arena ni de bloques, sino que prácticamente todos los cauces aluviales son ríos de gravas.

Esta primera fase de aproximación también ha servido para establecer unas variables básicas de análisis y comparación de casos. Esto permitirá en el futuro (segunda fase) seguir avanzando en el seguimiento y la búsqueda concreta de soluciones. La primera fase se ha trabajado con imágenes aéreas del año 2009, y la segunda fase tendrá lugar con las imágenes aéreas del año 2017. La franja temporal de ocho años entre ambas fases permitirá analizar la evolución de los cauces de gravas en la zona de estudio.

## 2. Material y método

El método de trabajo seguido se estructuró en tres etapas: (i) descarga y adaptación de datos; (ii) selección de tramos de estudio; (iii) selección de variables de estudio y proceso de cálculo. Como variables de estudio para cada tramo de gravas se han considerado: longitud, anchura máxima del cauce menor, tamaño de la cuenca hasta el final del tramo y el grado de colonización de la vegetación en el cauce (ver Anexo A). Los cálculos se han efectuado con Sistemas de Información Geográfica (SIG) a partir de ortoimágenes del año 2009 (escala 1:5.000) procedentes del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) de España. Se utilizaron también diversas coberturas hidrográficas de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) y del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), aunque los límites de algunas pequeñas cuencas se perfilaron manualmente para ajustarlos más a la realidad. La escala de fotointerpretación de los tramos de cauce de gravas ha oscilado entre 1:1.000 y 1:2.000. Como material de apoyo a la fotointerpretación se empleó el Modelo Digital del Terreno con resolución 5x5 m (MDT05) del Instituto Geográfico Nacional (IGN), y el modelo de pendientes derivado de este.

En la variable anchura máxima del cauce menor se ha considerado la anchura teniendo en cuenta el cauce menor actual y el que el curso pudo tener en un pasado. Esto supone considerar como cauce menor aquellas superficies donde se aprecian antiguos canales y donde se ha iniciado el crecimiento de la vegetación como síntoma de disminución de la actividad geomorfológica en el curso fluvial (Fig. 2).



**Figura 2.** Ejemplos en el proceso de definición del cauce y de la cubierta vegetal. Las imágenes A y B (río Aurín y río Cajigar) muestran un cauce menor actual (gravas recientes de tono más claro) más estrecho que en el pasado a causa de la colonización vegetal lateral e incisión. Las imágenes C y D muestran las diferencias entre un cauce con baja colonización vegetal, por debajo del 20% (río Arba de Luesia), y otro con importante desarrollo de la vegetación, por encima del 80% (río Cinca en Conchel). Las imágenes pertenecen al año 2009 (PNOA), están norteadas y obtenidas a escala 1:8.000.

El grado de cobertura vegetal de los tramos inventariados se ha obtenido por medio de un análisis visual (Fig. 2), estimándose las siguientes tres categorías: vegetado (más del 80% del cauce menor con desarrollo vegetal); parcialmente vegetado (entre el 20 y 80% de la superficie con crecimiento de vegetación); no vegetado (una superficie vegetada inferior al 20%).

La selección de los tramos de gravas se ha hecho considerando aquellos que alcanzasen una longitud mínima de 500 m y una anchura máxima del cauce de gravas de al menos 20 m. Con el fin de sistematizar la información, se ha considerado también que los tramos de gravas de un mismo río cuya longitud dista entre ellos menos de 2 km se debían unir en uno solo. Los cursos fluviales / tramos se han nombrado siguiendo la toponimia del Mapa Topográfico Nacional 1:25.000 (MTN25) de España. A los cursos de escasa entidad que no están recogidos en el MTN25 se les ha denominado "barranco", y entre paréntesis se ha colocado el nombre del río del que es afluente (ver Anexo A).

Los datos obtenidos del análisis con SIG se han exportado a una hoja de cálculo para relacionar las características de cada tramo. Mediante cruce de datos se han estudiado las relaciones de la anchura máxima del cauce menor con la longitud del tramo, el tamaño de la cuenca y la vegetación. La relación de las superficies con diferentes grados de cubrimiento vegetal se ha hecho según los siguientes intervalos de anchura máxima del cauce menor: anchura inferior a 20 m; anchura entre 20 y 100 m; anchura entre 101 y 200 m; anchura entre 201 y 500 m; y anchuras superiores a 500 m.

### 3. Resultados

#### 3.1. De las variables

Los cauces de gravas analizados presentan características muy dispares, no sólo desde el punto de vista de sus longitudes, tamaño de la cuenca o la anchura máxima del cauce menor, sino también desde la óptica de su funcionamiento. Existen cursos fluviales que en el pasado tuvieron características propias de ríos trezados, pero que en la actualidad han perdido su actividad y no funcionan como tales. Estos casos harán conveniente una reclasificación en el desarrollo de la investigación, de manera que en la segunda fase de trabajo se comparará la situación actual con la de mediados del siglo XX.

En la fotointerpretación de la zona de estudio se han obtenido un total de 224 tramos. De estos, 131 tramos alcanzan las características mínimas de longitud y anchura máxima del cauce menor, por lo que han sido los seleccionados. Se localizan en 108 cursos fluviales diferentes (Fig. 1).

Dentro de las cuencas estudiadas, 18 tramos pertenecen a la cuenca del río Aragón (15 cursos diferentes), 5 a la cuenca del Arba (3 cursos diferentes), 12 a la cuenca del Gállego (11 cursos diferentes), 76 a la cuenca del Cinca (61 cursos diferentes) y 20 a la cuenca del Noguera Ribagorzana (18 cursos diferentes) (Tabla 1).

En el Anexo A se recogen las características de los tramos para cada variable estudiada.

##### 3.1.1. Longitud

La longitud total de los tramos de gravas es de 992.395 m, con una longitud media de 7.576 m, aunque hay valores muy dispares. Estos datos oscilan entre los 89.991 m del río Cinca aguas abajo del embalse de El Grado o los 47.414 del río Aragón aguas abajo de Jaca, y los 616 m del barranco de Las Fontetas (afluente del río Guart) o los 710 m de un pequeño barranco afluente del Noguera Ribagorzana.

Los tramos de mayor longitud, como el Cinca aguas abajo del embalse de El Grado, el río Aragón aguas abajo de Jaca y el río Gállego a la altura de Zuera, son cursos que en las últimas décadas han visto muy mermada su actividad, aunque conservan varios canales y un amplio cauce menor en proceso de *vegetalización*.

En lo que respecta a los valores por cuencas, la del Aragón tiene una longitud total de 194.757 m (10.820 m de media por tramo), la del Arba 71.639 m (14.328 m de media), la del Cinca 522.230 m (6.871 m de media), la del Gállego 101.278 m (8.440 m de media) y la del Noguera Ribagorzana 102.491 m (5.125 m de media por tramo).

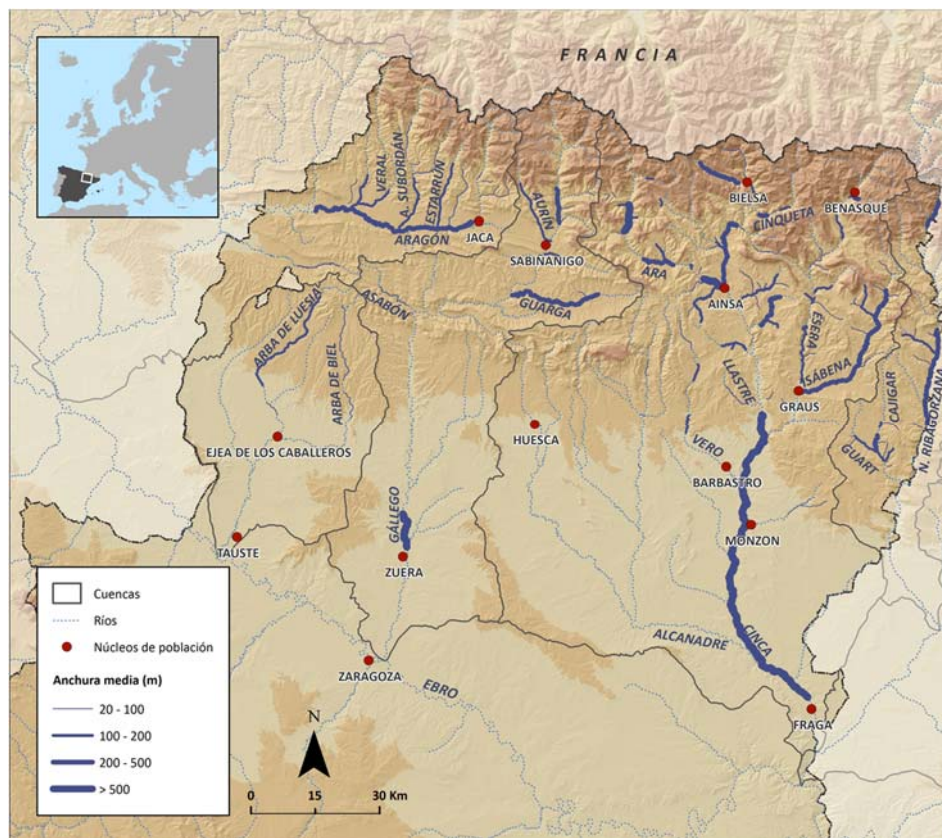
##### 3.1.2. Superficie de la cuenca

La extensión de las cuencas también ofrece datos muy variados, siendo el tamaño medio de ~200 km<sup>2</sup>. Destacan por su tamaño las cuencas del río Cinca aguas abajo del embalse de El Grado (5.447 km<sup>2</sup>), del río Gállego hasta Zuera (3.253 km<sup>2</sup>) y del río Aragón aguas abajo de Jaca (1.518 km<sup>2</sup>). Les siguen el Noguera Ribagorzana aguas abajo de Sopeira y el Ésera aguas arriba de Graus, ambas con 887 km<sup>2</sup> de superficie. Las cuencas menores pertenecen habitualmente a pequeños barrancos afluentes de ríos de mayor entidad. Entre ellos se encuentra un afluente del Arba de Biel, con una superficie de cuenca de 1,3 km<sup>2</sup>, o el barranco Cenero, afluente del río Cinca, con 2,3 km<sup>2</sup>.



### 3.1.3. Anchura

El promedio de los 131 tramos estudiados es de ~120 m, si bien existen diferencias muy marcadas entre ellos (Fig. 3). La anchura máxima se corresponde con el río Cinca aguas abajo del embalse de Mediano (1.125 m), seguido del río Gállego en las inmediaciones de Zuera (586 m). También destaca la anchura máxima del cauce menor del río Ara aguas abajo de Broto y en la zona de Aínsa (576 m y 515 m, respectivamente). En el lado contrario se sitúan los barrancos Rolande (22 m) y Forcos (21 m), ambos en la cuenca del Cinca.



**Figura 3.** Clasificación de los cauces de gravas en función de su anchura máxima. Base: CHE. Elaboración: ECOTER S.C.

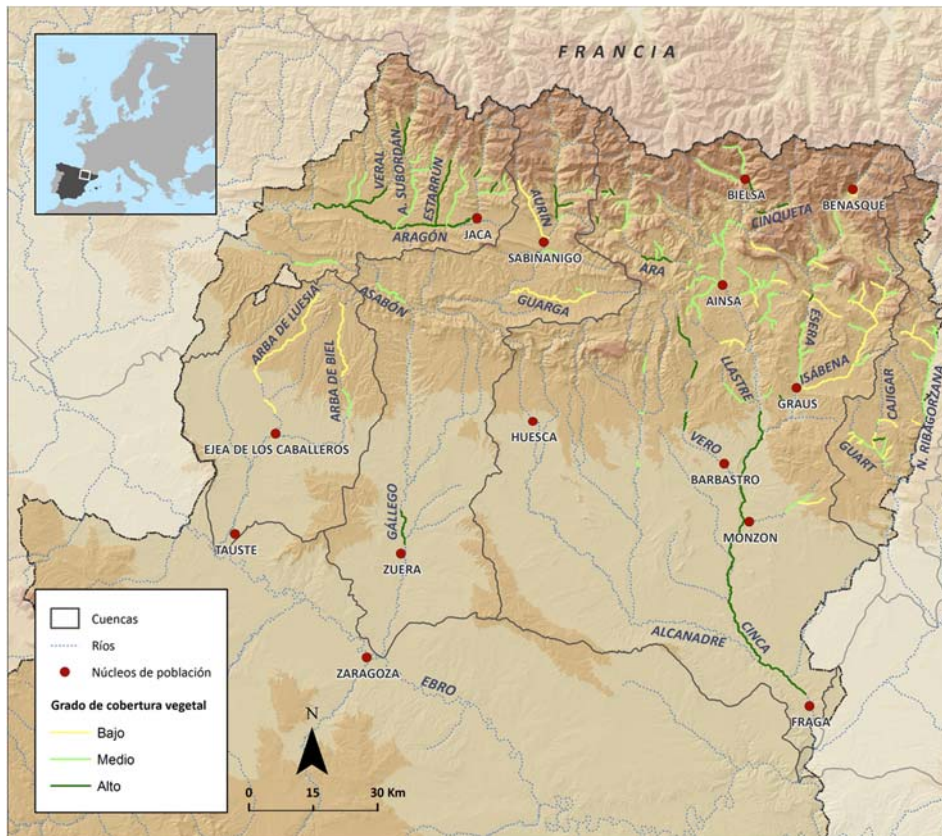
La mayor parte de los tramos que se han trabajado tienen una anchura máxima que oscila entre los 20 y 100 m, seguidos de aquellos que tienen una anchura máxima entre 101 y 200 m y los que tienen una anchura entre 201 y 500 m. Los tramos cuya anchura máxima supera los 500 m constituyen una excepción (Tabla 1).

**Tabla 1.** Porcentaje de tramos en cada curso fluvial y número de tramos en función de la anchura máxima del cauce.

Clasificación	Aragón	Arba	Cinca	Gállego	N. Ribagorzana	%
20-100 m	13	4	43	7	14	62
101-200 m	4	1	23	2	3	25
201-500 m	1	0	7	2	3	10
≥501 m	0	0	3	1	0	3
%	14	4	58	9	15	100

### 3.1.4. Colonización vegetal

Entre los 131 tramos de gravas analizados (Fig. 4) dominan los que cuentan con un grado de cobertura vegetal medio –entre el 20 y 80% de la superficie–, sumando un total de 76 tramos (58%), seguido de los poco vegetados –aquellos que tienen una superficie vegetada inferior al 20%– con 32 tramos (24%). Los altamente vegetados –más de un 80% con cubrimiento vegetal– acumulan 23 tramos (18%).



**Figura 4.** Clasificación de los cauces de gravas en función de su cubrimiento vegetal. Base: CHE. Elaboración: ECOTER S.C.

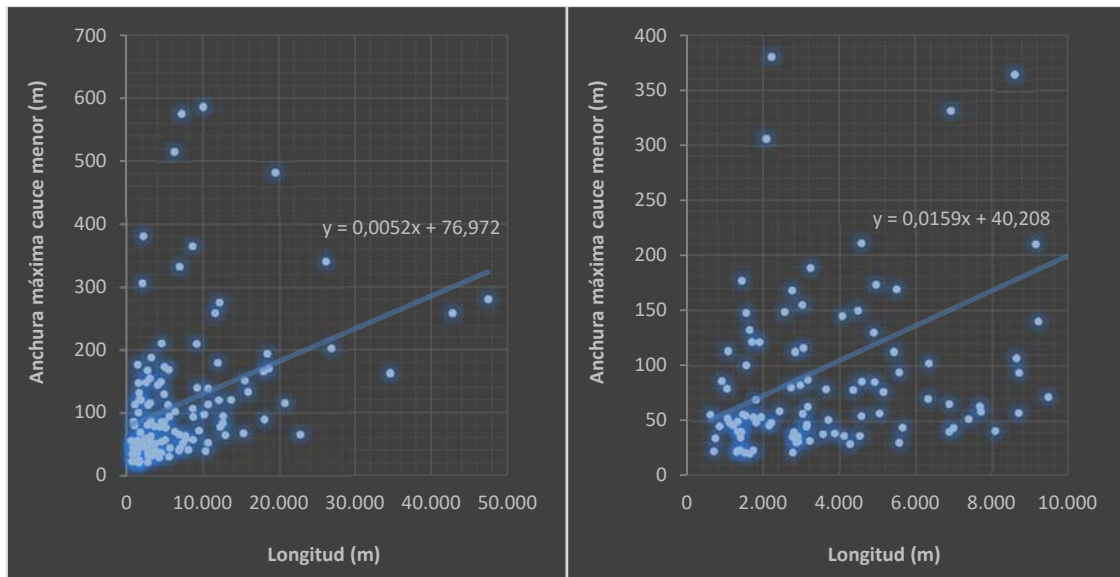
En la cuenca del río Arba los cauces están poco vegetados y en la cuenca del río Aragón no hay representación de cauces con baja cobertura vegetal (Tabla 2). En las cuencas de los ríos Gállego, Cinca y Noguera Ribagorzana la situación es más variada (Tabla 2).

**Tabla 2.** Número de tramos en función de la colonización vegetal.

Clasificación	Aragón	Arba	Cinca	Gállego	N. Ribagorzana	%
Alto	7	0	13	3	1	18
Medio	11	1	47	5	11	57
Bajo	0	4	16	4	8	24
%	14	4	58	9	15	100

### 3.1.5. Comparativos

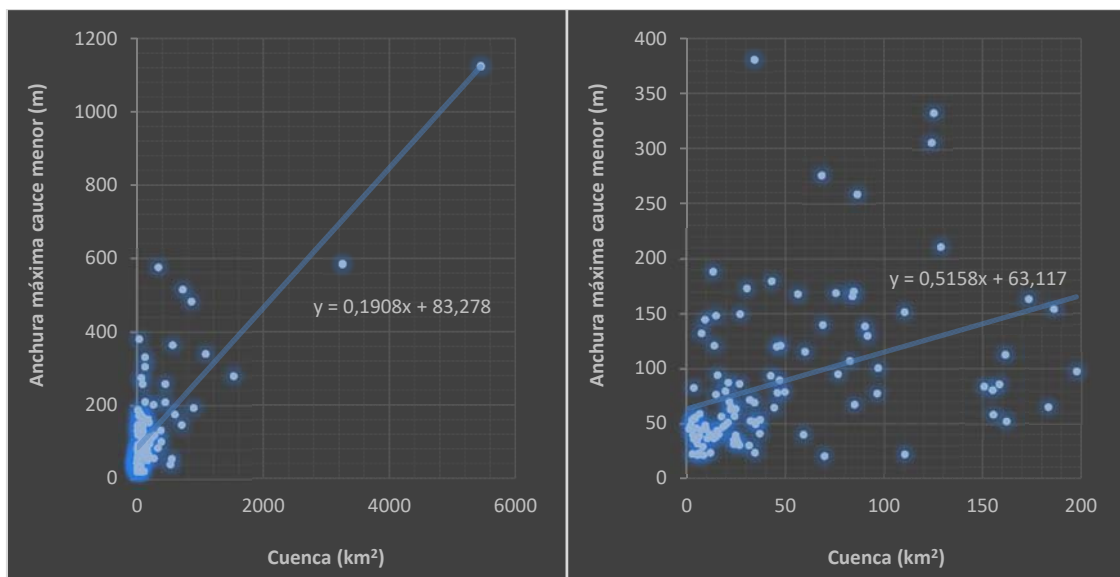
En el primer análisis comparativo se ha estudiado la relación entre la longitud del tramo y la anchura máxima del cauce menor (Fig. 5). El análisis con todos los tramos resulta complejo de evaluar debido a la diversidad de longitudes (Fig. 5A). Como solución se ha analizado el intervalo de longitudes comprendido entre 0 y 10.000 m de longitud (>75% del total), donde la relación es visualmente más perceptible (Fig. 5B). Se observa que un aumento de la longitud del tramo supone siempre un aumento de la anchura máxima del cauce menor, aunque la intensidad de esta relación difiere según el intervalo de longitudes a considerar.



**Figura 5.** Relación de la longitud y anchura máxima del cauce menor de todos los tramos estudiados (5A – izda.), y en los tramos con longitud inferior a 10.000 m (5B – dcha.).

El análisis entre la anchura máxima del cauce menor y la extensión de la cuenca refleja cómo un aumento del tamaño de la cuenca supone un aumento de la anchura máxima del cauce menor (Fig. 6). Esta relación también fue constatada en los ríos trenzados de los Alpes franceses (Piégay *et al.*, 2009).

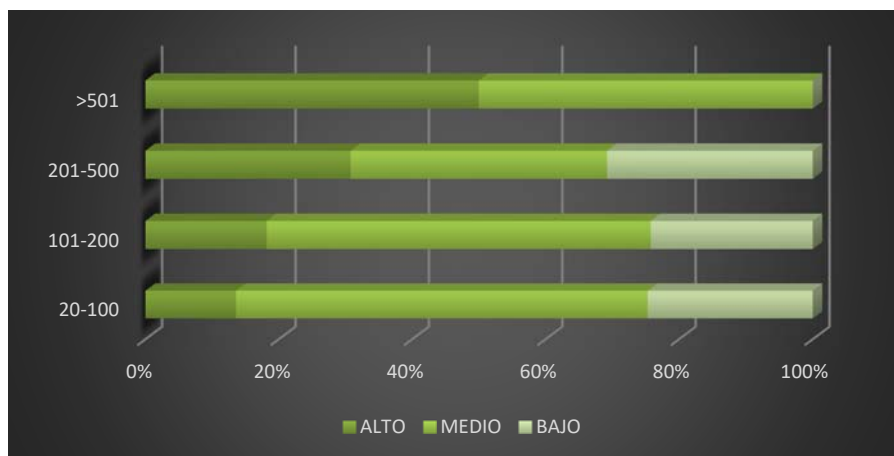
La elevada variedad de tamaños de cuencas hace que la relación con la anchura máxima del cauce menor dificulte establecer una relación precisa entre ambas variables (Fig. 6A). Acotando esa variabilidad a un determinado tamaño de cuenca se pudo analizar mejor esa relación. En la Fig. 6B están representados los tramos con cuencas entre 0 y 200 km<sup>2</sup> (>80% del total). Se observa como el aumento de la anchura máxima del cauce menor está relacionada con un aumento del tamaño de cuenca.



**Figura 6.** Relación de la superficie de la cuenca y anchura máxima del cauce menor de los tramos estudiados (6A – izda.) y de los tramos cuya extensión de la cuenca es inferior a 200 km<sup>2</sup> (6B – dcha.).

La comparativa de la cobertura vegetal con la anchura máxima del cauce menor sugiere que los cauces de mayor anchura máxima tienen un cubrimiento vegetal medio y alto, pero escasos tramos con grado de cubrimiento vegetal bajo. Caudes con anchura máxima inferior a 500 m tienen representación de todas las superficies con diferentes grados de cobertura vegetal (Fig. 7). Los cauces con grado de cobertura vegetal bajo se mantienen más o menos estables en todos los tramos. Aquellos con grado de cobertura vegetal alto tienden a disminuir de forma importante en los tramos inferiores a 500 m. En contraposición, los cauces con grado de cobertura vegetal medio se incrementan a medida que descienden las anchuras máximas del cauce menor en aquellos inferiores a 500 m.





**Figura 7.** Porcentaje de tramos con diferente grado de cobertura vegetal según la anchura máxima del cauce menor.

Existen 5 tramos con grado de cobertura vegetal medio (39%) entre 201 y 500 m de anchura máxima; 19 tramos (58%) entre 101 y 200 m de anchura; y 50 tramos (62%) entre 20 y 100 m. Las superficies con grado de cobertura vegetal bajo, es decir, los tramos más activos, se mantienen en valores porcentuales estables a medida que la anchura máxima del cauce menor desciende: entre 201 y 500 m, 4 tramos (31%); entre 101-200 m, 8 tramos (24%); y entre 20 y 100 m, 20 tramos (25%). Los tramos con grado de cobertura vegetal alto descienden también en valores porcentuales a medida que disminuye la anchura máxima del cauce menor: 4 tramos (31%) entre 201 y 500 m de anchura máxima; 6 tramos (18%) entre 101 y 200 m de anchura; y 11 tramos (14%) entre 20 y 100 m.

## 4. Discusión y perspectivas

### 4.1. Clasificación

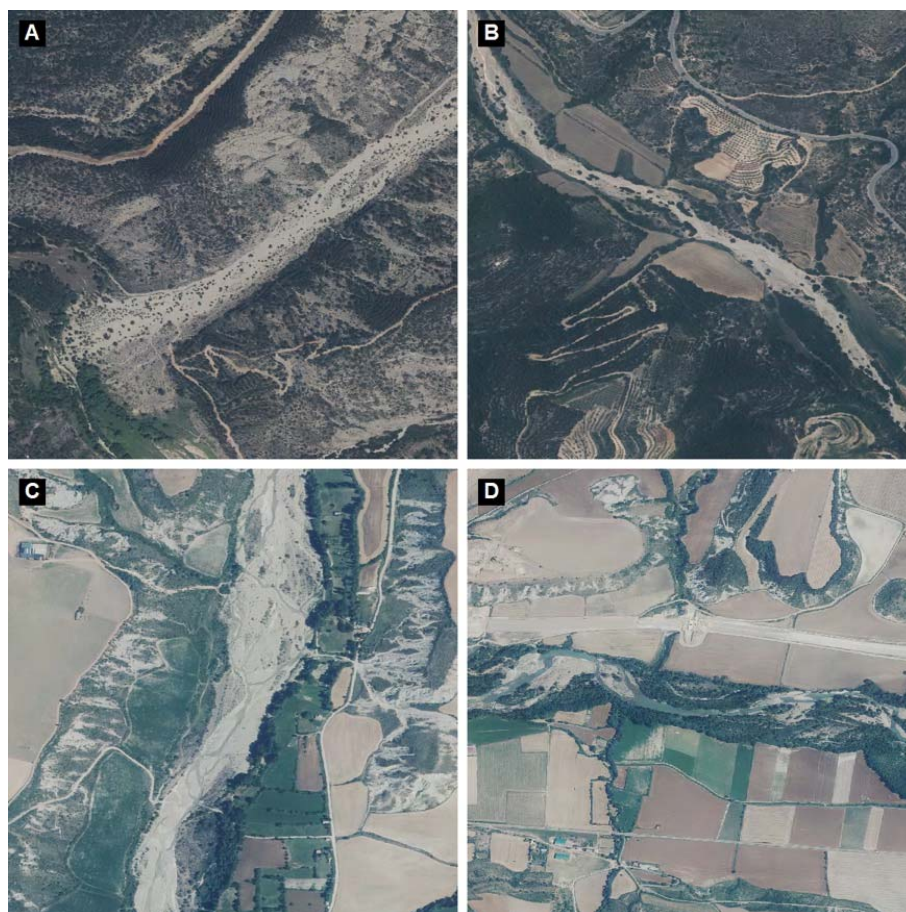
No existe ninguna clasificación específica y aplicable de forma general sobre cauces de gravas. Dentro de las tipologías basadas en la forma en planta, los cauces de gravas suelen clasificarse como trenzados (*braided*), si presentan trenzamiento claro de canales, barras e islas (Leopold y Wolman, 1957), o como divagantes (*wandering*) cuando hay un cauce principal generalmente sinuoso y bien definido, acompañado de extensos depósitos sedimentarios (Ferguson y Werritty, 1983). No existe en la literatura científica un tipo específico para cauces de gravas estrechos, aunque Brice (1975) estableció una gradación para los trenzados en función de sus dimensiones y frecuencia de barras. El problema de clasificar sobre la forma en planta es que queda condicionado al nivel de caudal. Una alternativa consiste en clasificar en función de las morfologías de fondo de lecho (Montgomery y Buffington, 1997), lo cual requiere trabajo de campo, además de que los cauces de gravas presentan poca diversidad en relación con esta variable.

En consecuencia, es necesario abordar una clasificación propia, apoyada en las características concretas de los cauces de gravas del área de estudio y fundamentada en las variables básicas analizadas en el presente trabajo. En una primera aproximación parece que pueden diferenciarse cuatro grandes tipos de cauces de gravas en el Pirineo aragonés (Fig. 8):

- Tipo A. Torrentes y barrancos de montaña, estrechos y pendientes (>2%). Son cursos de corto recorrido y cabeceras con aluviones poco clasificados.
- Tipo B. Cauces de barras mal definidas, más anchos y de menor pendiente (<2%) que los del anterior grupo. Corresponden a la mayor parte de los cursos de gravas de tramos medios y montaña media del área de estudio, con limitación lateral por las condiciones del valle.
- Tipo C. Cauces trenzados, con suficiente anchura y desarrollo de brazos. En el área de estudio se dan en la actualidad tramos muy cortos con estas características en los cursos medios del Arba de Luesia, Aurín y Guarga, en el curso bajo del Estarrún y en dos tramos del Cinca medio-bajo.
- Tipo D. Cauces divagantes, extensos, con un cauce principal claro. Quedan representados en la actualidad por los principales ríos pirenaicos (Aragón, Gállego y Cinca) en sus cursos medios y medio-bajos.

Esta tipología hay que considerarla provisional. En próximos avances de la investigación se redefinirán estos tipos en función de nuevas variables analizadas y del estado evolutivo de los cauces estudiados. También se comprobará, completará y medirá la distribución regional de estos cuatro tipos en el área de estudio.





**Figura 8.** Modelos de referencia de las cuatro tipologías: tipo A (bco. de la Solana), tipo B (río Llastre), tipo C (curso bajo del río Estarrún), tipo D (río Aragón en Santa Cilia). Las imágenes pertenecen al año 2015, están norteadas y obtenidas a escalas 1:15.000 (A, B, C) y 1:25.000 (D).

#### 4.2. Problemática y puesta en valor

La problemática observada en un primer diagnóstico es muy compleja, pero destacan tres procesos de especial gravedad: (i) la desaparición definitiva, producida entre 1920 y 1980, de varios cursos de gravas bajo los embalses en tramos de valles abiertos de los principales ríos (Aragón, Gállego, Cinca, Ésera y Noguera Ribagorzana) (Ollero, 2006); (ii) un proceso generalizado de estrechamiento, simplificación, colonización vegetal e incisión, registrado con mayor o menor intensidad en todos los cursos (Liébault y Piégay, 2002); y (iii) prácticas destructivas frecuentes por extracciones de áridos y obras de emergencia tras crecidas, también muy generalizadas y marcadas por la presencia de varias empresas extractoras que operan sobre una buena parte de la red fluvial (los ríos Aragón, Guarga, Basa, Cinca, Ara, Ésera e Isábena se encuentran entre los más dañados en los últimos años) (Ferrer-Boix, 2010). Estos tres grandes problemas de los ríos de gravas pirenaicos se manifiestan de forma intensa desde hace varias décadas, por lo que la situación actual es muy negativa y cada vez más difícil de abordar desde una perspectiva conservacionista y de restauración.

La tendencia general al estrechamiento ya se está frenando en Italia, donde se observa en ríos del piedemonte alpino una clara tendencia al ensanchamiento en algunos tramos (Surian *et al.*, 2009). En los ríos pirenaicos, sin embargo, no se aprecia esta tendencia, sino que el estrechamiento sigue todavía imparable, tal como se constata en la sucesión de fotografías aéreas recientes. Aunque es probable que el proceso de consolidación de la cubierta vegetal en las cuencas no pueda aumentar ya, por lo que el aporte de sedimentos a la red fluvial puede estar llegando al mínimo posible. Esta hipótesis deberá ser comprobada en la continuación de esta investigación.

Los procesos de simplificación, colonización vegetal e incisión son evidentes y muy fácilmente observables en muchos cauces (ver Fig. 9), pero hasta el momento no han sido cuantificados y deberán ser evaluados en el futuro como tarea prioritaria. Para la restauración de estos síntomas y procesos será imprescindible el aporte extra de sedimentos, y en ríos regulados la generación de crecidas desde los embalses que los movilicen y distribuyan (Ollero, 2015; Lobera *et al.*, 2015).



**Figura 9.** El terreno por encima del escarpe (foto izda.) era cauce activo del río Lubierre en la fotografía aérea de 1985. Formación (foto dcha.) de una banqueta (*bench*) colonizada por la vegetación, cada vez más estable y alta sobre el canal de estiaje en el curso bajo del río Aurín.

La puesta en valor se consigue con reconocimiento científico, como ha ocurrido con el río Tagliamento en Italia (Ward *et al.*, 1999), con iniciativas de divulgación, como algunas desarrolladas en el Geoparque de Sobrarbe (Fernández Martínez *et al.*, 2015), con voluntariado ambiental, como algunas experiencias relacionadas con la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos (Ollero y Romeo, coord., 2007) o con iniciativas locales (Monzón con el río Cinca, por ejemplo), con proyectos de custodia del territorio, todavía inexistentes en el área aunque en los últimos años han surgido algunas ideas (Ollero, 2015). Pero sobre todo se consigue con voluntad desde la administración y los órganos de gestión para reducir o eliminar las prácticas degradantes actuales y para establecer figuras de protección. En esta línea sería de gran utilidad la figura de las Reservas Naturales Fluviales, declaración de ámbito estatal. En noviembre de 2015 se declararon 82 reservas en las cuencas de la Península Ibérica, de las cuales 13 están en la cuenca del Ebro y 5 en el área de estudio: cabecera del río Arba de Luesia (17,9 km), cabecera del río Estarrún (4,7 km), cabecera del río Noguera Ribagorzana (12,3 km), el río Isuala completo (40,9 km) y el río Veral entre Ansó y el Majones (26,8 km). Hay propuestas de ampliación progresiva de tramos protegidos y es necesaria una estrategia de gestión para estas reservas, todavía no definida. Hasta ahora se ha primado el buen estado ecológico, pero no la tipología fluvial, de manera que de los citados tramos protegidos solo son ríos de gravas 9 km del curso bajo del Veral y 6 km del curso alto del Arba de Luesia. Precisamente en ambos ríos el punto donde concluye la Reserva no ha tenido en cuenta la geomorfología y se localiza en pleno cauce de gravas, que podría haber sido protegido hasta varios kilómetros más abajo.

#### 4.3. Seguimiento

El estudio presentado en este artículo se ha basado exclusivamente en trabajo de gabinete. Los siguientes pasos en el desarrollo de la investigación consisten en establecer un protocolo de campo para mejorar el conocimiento de los tramos de gravas y proceder al seguimiento de los mismos con observaciones periódicas de detalle en campo. También se van a evaluar nuevos parámetros en gabinete. En conjunto, el protocolo de investigación a partir de aquí se abordará sobre los siguientes 13 parámetros, siendo los 4 primeros los ya trabajados hasta el momento (también susceptibles de mejora):

- 1) Longitud del cauce.
- 2) Superficie de la cuenca vertiente.
- 3) Anchura máxima y media del cauce activo.
- 4) Grado de colonización vegetal del lecho. Se completará con observaciones de campo y comprobación de síntomas de actividad geomorfológica en cada tramo.
- 5) Distancia y desnivel desde el nacimiento del curso fluvial hasta el tramo.
- 6) Pendiente media del cauce en el tramo. Este parámetro se ha utilizado en este artículo para diferenciar los cuatro tipos de cauces de gravas establecidos para el Pirineo aragonés.
- 7) Litología y usos del suelo de la cuenca, para su evaluación como factor de los caracteres geomorfológicos de cada tramo, incluyendo el cambio diacrónico de las zonas productoras de sedimentos.
- 8) Complejidad morfológica del cauce. Estudio de detalle en campo y sobre fotos aéreas, cartografía de detalle y establecimiento de un índice que aporte un valor de complejidad para cada tramo.
- 9) Relación anchura-profundidad y grado de irregularidad en la sección, completando al parámetro anterior. Este parámetro se trabajará en el punto de mayor anchura del tramo.

- 10) Potencia específica en situación de cauce lleno. Como en el parámetro anterior, se trabajará en el punto de mayor anchura del tramo.
- 11) Caracterización de los sedimentos: tamaño (centilo,  $d_{84}$ ,  $d_{50}$ ), desviación y desgaste. Se realizará en tres puntos de muestreo de cada tramo: (a) próximo al inicio del tramo; (b) en el punto de máxima anchura o próximo a él; y (c) próximo a la salida del tramo.
- 12) Análisis diacrónico sobre diferentes fotografías aéreas para identificar y cuantificar cambios en el tiempo. También se identificarán tramos que han perdido el carácter de cauce ancho de gravas por su ocupación por un embalse o por su evolución hacia otras morfologías.
- 13) Tipificación en su situación actual y en situaciones pasadas.

## 5. Conclusiones

Disponer de este primer inventario y localización de tramos de gravas permitirá evaluar en un futuro su evolución, además de completar el estudio. Asimismo, los datos obtenidos mediante las cuatro variables estudiadas han ayudado a conocer de forma muy general las características principales, así como las relaciones existentes entre ellas.

Los cauces de gravas del Pirineo aragonés suman una longitud total de 1.000 km, por lo que constituyen todavía un patrimonio extenso. El tramo más largo es el curso medio-bajo del río Cinca, con 90 km de longitud y más de 1 km de anchura máxima. La colonización vegetal de las barras es un proceso activo y en progresión en todos los casos, más evidente en los más anchos y en los de anchura media, lo cual muestra la relación del crecimiento vegetal con el estrechamiento del cauce y probablemente con su incisión. En cambio, muchos cursos de escaso desarrollo en anchura todavía mantienen bajos cubrimientos de vegetación, ya que todo el cauce es activo con caudales altos. En todo caso, la tendencia a la simplificación geomorfológica de los principales cauces de gravas pirenaicos parece evidente.

En sucesivas fases se estudiarán más parámetros e indicadores, se evaluarán los impactos y presiones y se abordarán análisis diacrónicos que permitirán establecer con mayor claridad las tendencias aquí esbozadas. Esta ampliación del estudio deberá ir encaminada hacia una clasificación en tipologías de los ríos de gravas en función de todas las variables que finalmente se trabajen, y constatar posibles patrones en el comportamiento de estos cursos fluviales. Ello puede constituir un primer avance para conocerlos mejor y proponer medidas de conservación, protección y restauración, imprescindibles para garantizar su perdurabilidad.

## Anexo

Anexo A. Características de los tramos para cada variable estudiada, donde: L (longitud del tramo, m), A (tamaño de la cuenca hasta el final del tramo,  $\text{km}^2$ ), B-A (banda activa, es decir, anchura máxima del cauce menor, m) y C-V (grado de colonización de la vegetación en el cauce).

Río	Cuenca	L	A	B-A	C-V
Arba de Biel	Arba	22641,5	183,3	65,6	No vegetado
Barranco Sierra	Cinca	10311,5	24,9	39,5	Parcialmente vegetado
Onsella	Aragón	15236,1	84,8	67,6	Parcialmente vegetado
Arba de Luesia	Arba	34551,7	173,2	163,4	No vegetado
Barranco de Bacamorta	Cinca	10628,6	32,4	52,9	No vegetado
Ijuez	Aragón	12866,2	44,3	64,9	Parcialmente vegetado
Barranco Salat	Cinca	8069,9	37,0	41,2	Parcialmente vegetado
Ceguera	Cinca	5556,2	31,6	30,6	Parcialmente vegetado
Ena	Cinca	20644,0	59,8	115,8	Parcialmente vegetado
Aragón	Aragón	47413,8	1517,7	280,7	Vegetado
Ésera	Cinca	6860,3	523,9	40,7	Parcialmente vegetado
Barranco (afluente del Sosa)	Cinca	6977,2	15,5	44,0	No vegetado
Barrosa	Cinca	12196,5	96,2	77,7	Parcialmente vegetado
Arba de Biel	Arba	8679,2	265,3	57,5	Parcialmente vegetado
Asabón	Gállego	12530,0	150,7	84,0	Parcialmente vegetado
Barranco Garona	Cinca	4267,6	8,4	29,4	No vegetado
Garona	Cinca	7370,7	35,2	52,1	No vegetado
Vero	Cinca	9456,9	32,1	71,9	Vegetado
Sosa	Cinca	7694,3	155,2	58,8	Parcialmente vegetado
Barranco (afluente B. de la Ball)	Cinca	2771,3	8,6	21,7	Parcialmente vegetado
Barranco La Natiella	Cinca	5642,2	7,2	44,3	No vegetado

Río	Cuenca	L	A	B-A	C-V
Barranco Ena Lecina	Cinca	4526,7	10,5	36,8	Parcialmente vegetado
IsÀbena	Cinca	42793,7	443,9	259,2	No vegetado
Barranco del Sacal	Aragón	7663,3	24,8	63,6	Parcialmente vegetado
Aragón Subordán	Aragón	15839,8	372,9	133,5	Parcialmente vegetado
Veral	Aragón	13630,9	275,8	121,1	Vegetado
Barranco de Orós	Gállego	4115,2	13,8	36,8	Vegetado
Sieste	Cinca	6863,6	22,5	65,8	Parcialmente vegetado
Aragón Subordán	Aragón	10100,2	197,5	97,5	Vegetado
La Nata	Cinca	15426,3	110,1	151,7	Parcialmente vegetado
Sobrecastell	Segre	12032,4	45,6	120,4	No vegetado
Barranco (afluente N. Ribagorzana)	Segre	3213,1	5,5	32,3	Parcialmente vegetado
Barranco La Ribera	Cinca	3871,6	6,4	39,0	No vegetado
Ésera	Cinca	18335,2	887,2	194,2	Parcialmente vegetado
Guart	Segre	10651,0	230,8	113,5	Parcialmente vegetado
Barranco de la Ball	Cinca	3563,7	15,0	38,4	No vegetado
Barranco de Romaciete	Aragón	2864,9	26,7	30,9	Parcialmente vegetado
Naval	Cinca	8692,0	42,5	93,9	Parcialmente vegetado
Barranco del Molino	Segre	2911,7	23,9	31,7	No vegetado
Barranco San Romá	Segre	6312,1	21,6	70,3	Parcialmente vegetado
Barranco Esdolomada	Cinca	5042,3	24,2	57,0	Parcialmente vegetado
Barranco de Los Pasos	Segre	4568,4	4,3	54,7	Parcialmente vegetado
Susía	Cinca	8621,6	82,4	107,2	No vegetado
Cinca	Cinca	89991,0	5446,9	1125,3	Vegetado
Barranco Badiello	Aragón	2899,4	3,6	36,5	Vegetado
Barranco Forcos	Cinca	1644,9	69,7	20,8	No vegetado
Barranco Campo Ciego	Cinca	2769,4	5,5	36,0	Parcialmente vegetado
Basa	Gállego	10640,6	90,1	138,9	Parcialmente vegetado
Noguera Ribagorzana	Segre	25993,8	1075,9	340,8	Parcialmente vegetado
Aires	Cinca	1736,4	34,6	23,8	Parcialmente vegetado
Barranco de Castrosit	Cinca	3703,4	20,9	51,4	Parcialmente vegetado
Barranco Rolande	Cinca	1521,0	5,8	21,6	Vegetado
Barbaruéns	Cinca	2803,9	59,1	40,3	Parcialmente vegetado
Barranco del Riu	Segre	3128,9	9,9	45,0	No vegetado
Lubierre	Aragón	17990,4	46,9	89,8	Parcialmente vegetado
Barranco Ripoco	Cinca	5144,1	14,9	76,6	No vegetado
Barranco Peña Meseta	Gállego	3141,3	18,3	47,1	Parcialmente vegetado
Barranco de la Llera	Cinca	11901,5	43,1	179,7	No vegetado
Majones	Aragón	9193,4	68,8	140,0	Parcialmente vegetado
Ésera	Cinca	6333,8	380,7	102,5	Parcialmente vegetado
Osia	Aragón	12610,8	76,5	95,2	Parcialmente vegetado
Aurín	Gállego	17849,1	83,8	166,1	No vegetado
Viacamp	Segre	5554,0	15,6	94,4	No vegetado
Isuala	Cinca	1305,9	110,1	22,5	Parcialmente vegetado
Barranco de San Juan	Aragón	1387,3	12,1	23,9	Parcialmente vegetado
Arba de Luesia	Arba	4910,6	326,1	85,6	No vegetado
Barranco Larraz	Aragón	1313,1	6,3	23,2	Parcialmente vegetado
Barranco La Bodegueta	Cinca	4351,8	45,8	78,4	Parcialmente vegetado
Barranco de la Sosa	Cinca	3028,5	17,6	56,8	Parcialmente vegetado
Alcanadre	Cinca	4581,0	158,2	86,0	Parcialmente vegetado
Barranco de las Ortogas	Segre	3162,9	22,2	63,2	No vegetado
Vero	Cinca	5418,2	219,5	112,6	Vegetado
Barranco de Asún	Gállego	2153,7	4,8	46,1	No vegetado
Yesa	Cinca	3644,4	49,7	79,1	Parcialmente vegetado
Barranco Martín	Cinca	2210,7	9,4	48,8	Parcialmente vegetado
Usía	Cinca	11548,1	86,0	258,8	Parcialmente vegetado
Cinca	Cinca	12119,1	68,4	275,8	Parcialmente vegetado
Gállego	Gállego	9125,9	445,9	210,0	Vegetado
Barranco Retuerto	Cinca	2425,3	6,7	59,2	No vegetado
Cinca	Cinca	19510,8	854,4	482,9	Parcialmente vegetado
Barranco de Espetal	Aragón	1407,4	23,9	35,4	Vegetado
Guarga	Gállego	26710,9	256,1	202,7	No vegetado



Río	Cuenca	L	A	B-A	C-V
Vero	Cinca	4889,1	91,4	129,9	Vegetado
Barranco Fabarrosa	Gállego	1816,2	19,5	48,9	Parcialmente vegetado
Barranco de La Sorda	Cinca	3161,8	21,1	87,6	Parcialmente vegetado
Sorrosal	Cinca	1943,8	37,2	53,9	Vegetado
Barranco de Castelló	Segre	2964,6	3,7	82,9	Vegetado
Barranco (afluente Guart)	Segre	1427,8	3,2	40,1	Parcialmente vegetado
Barranco Buesa	Gállego	1413,4	11,8	40,7	No vegetado
Aragón	Aragón	2723,9	154,9	80,7	Vegetado
Barranco Forcos	Cinca	1334,9	16,3	40,8	Vegetado
Rialvo	Cinca	5488,7	75,4	169,0	Parcialmente vegetado
Barranco Fabar	Cinca	1737,7	2,8	53,7	Parcialmente vegetado
Barranco (afluente N. Ribagorzana)	Segre	709,6	2,9	22,7	Parcialmente vegetado
Barranco Formigales	Cinca	4479,5	27,1	149,7	Parcialmente vegetado
Barranco de Cájol	Cinca	4950,2	30,5	173,2	Parcialmente vegetado
Barranco la Solana	Segre	4067,4	9,4	144,8	No vegetado
Barranco de Casa Peralta	Cinca	1535,1	3,7	55,1	Vegetado
IruÚs	Cinca	1329,1	35,0	49,9	Parcialmente vegetado
Cinca	Cinca	3052,1	206,1	115,9	Vegetado
Barranco de Mora	Segre	1214,6	9,2	46,4	No vegetado
Alcanadre	Cinca	1468,9	545,1	56,4	Parcialmente vegetado
Barranco de Oliván	Gállego	1803,8	34,4	69,4	Parcialmente vegetado
Cinqueta	Cinca	2837,3	161,2	112,6	Vegetado
Ara	Cinca	8606,0	560,0	365,1	Vegetado
Barranco Cenero	Cinca	1118,8	2,3	48,7	Parcialmente vegetado
Cajjigar	Segre	4568,4	128,3	210,8	No vegetado
Barranco del Ramillar	Cinca	744,9	25,6	34,7	Parcialmente vegetado
Noguera Ribagorzana	Segre	6921,7	125,1	332,4	Parcialmente vegetado
Onsella	Aragón	1061,6	161,8	52,7	Parcialmente vegetado
Bellós	Cinca	3021,8	185,6	154,8	Parcialmente vegetado
Barranco (afluente Arba de L.)	Arba	855,6	1,3	45,5	No vegetado
Estarrún	Aragón	18554,7	84,4	170,4	Vegetado
Barranco de Yosa	Cinca	2561,5	14,9	148,5	Parcialmente vegetado
Barranco Foradada	Cinca	3234,4	13,4	188,4	No vegetado
Gállego	Gállego	9978,3	3253,1	586,1	Vegetado
Barranco Chate	Cinca	2755,4	56,2	168,1	Parcialmente vegetado
Barranco del Chate	Cinca	1902,8	14,0	121,2	Parcialmente vegetado
Cajjigar	Segre	1555,0	96,7	100,8	Parcialmente vegetado
Arazas	Cinca	1699,7	47,4	121,2	Parcialmente vegetado
Barranco de Burgasé	Cinca	1052,4	19,7	79,7	Parcialmente vegetado
Ara	Cinca	7209,1	334,6	575,7	Parcialmente vegetado
Barranco Fontanals	Cinca	1643,1	7,6	132,3	No vegetado
Ara	Cinca	6244,5	719,7	515,4	Parcialmente vegetado
Barranco de las Fontetas	Segre	615,8	4,2	55,9	Parcialmente vegetado
Barranco Miralles	Segre	918,1	26,8	86,4	Parcialmente vegetado
Ésera	Cinca	1549,1	701,8	147,8	Vegetado
Ésera	Cinca	1077,3	231,5	113,5	Parcialmente vegetado
Ara	Cinca	1440,6	592,5	176,9	Parcialmente vegetado
Cinqueta	Cinca	2077,5	124,1	306,2	Vegetado
Remascaró	Cinca	2205,5	34,1	381,2	No vegetado

## Referencias

ACÍN, Vanesa. *Cambios en la dinámica fluvial de los ríos Gállego (tramo Biescas-Sabiñánigo) y Aurín en los últimos 50 años*. Zaragoza: Proyecto fin de carrera, Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, 2004.

ACÍN, VANESA; GRANADO, David; SÁNCHEZ GIL, Lorena; SÁNCHEZ GIL, Noelia y OLLERO, Alfredo. *Caracterización y valoración hidromorfológica y ecológica de los ríos y riberas de las cuencas altas del Aragón y el Gállego, para el diseño de un plan ambiental*. Jaca: Asociación para el Desarrollo Integral de la Cuna de Aragón, 2006.

- BATALLA, Ramon. Sediment deficit in rivers caused by dams and instream gravel mining. A review with examples from NE Spain. *Cuaternario y Geomorfología*, 2003, vol. 17, nº 3-4, pp. 79-91.
- BATALLA, Ramon; GÓMEZ, Carlos Mario y KONDOLF, George Mathias. Reservoir-induced hydrological changes in the Ebro river basin (NE Spain). *Journal of Hydrology*, 2004, vol. 290, pp. 117-136.
- BEECHIE, Timothy J.; LIERMANN, Martin; POLLOCK, Michael M.; BAKER, Sarah y DAVIES, Jeremy. Channel pattern and river-floodplain dynamics in forested mountain river systems. *Geomorphology*, 2006, vol. 78, pp. 124-141.
- BEGUERÍA, Santiago. *Erosión y fuentes de sedimento en la cuenca del embalse de Yesa (Pirineo Occidental): ensayo de una metodología basada en teledetección y análisis SIG*. Zaragoza: Tesis doctoral. Instituto Pirenaico de Ecología, 2005.
- BEGUERÍA, Santiago; LÓPEZ-MORENO, Juan Ignacio; LORENTE, Adrián; SEEGER, Manuel y GARCÍA-RUIZ, José María. Assessing the effect of climate oscillations and land-use changes on streamflow in the Central Spanish Pyrenees. *Ambio*, 2003, vol. 32, nº 4, pp. 283-286.
- BEGUERÍA, Santiago; LÓPEZ-MORENO, Juan Ignacio; GÓMEZ-VILLAR, Amelia; RUBIO, Virginia; LANA-RENAULT, Noemí y GARCÍA-RUIZ, José María. Fluvial adjustments to soil erosion and plant cover changes in the central Spanish Pyrenees. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 2006, vol. 88, nº 3, pp. 177-186.
- BRAVARD, Jean-Paul y PEIRY, Jean-Luc. La disparition du tressage fluvial dans les Alpes françaises sous l'effet de l'aménagement des cours d'eau (19-20ème siècle). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 1993, vol. 88, pp. 67-79.
- BRICE, James. *Air photo interpretation of the form and behavior of alluvial rivers*. St. Luis: Technical report, U.S. Army Research Office, 1975.
- FERGUSON, Robert I. y WERRITTY, Alan. Bar development and channel changes in the gravelly River Feshie, Scotland. En: COLLINSON, John David y LEWIN, John (Eds.). *Modern and ancient fluvial systems*. Oxford: Blackwell, International Association of Sedimentology, 1983, pp. 181-193.
- FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, Esperanza; CARCAVILLA, Luis; BELMONTE, Ánchel y RUIZ, Ana. Estrategias de divulgación del Geoparque de Sobrarbe: II. Los paneles de las geo rutas a pie de carretera y BTT. En: HILARIO, Asier; MENDIA, Miren; MONGE, Manu; FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, Esperanza; VEGAS, Juana y BELMONTE, Ánchel (Eds.). *Patrimonio geológico y geoparques, avances de un camino para todos*, Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2015, pp. 489-494.
- FERRER-BOIX, Carles. *Incisión de ríos por extracción aluvial y retirada de presas. Estudio matemático y experimental*. Barcelona: Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, 2010.
- GARCÍA-RUIZ, José María y PUIGDEFÁBREGAS, Joan. Efectos de la construcción de pequeñas presas en cauces anastomosados del Pirineo Central. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 1985, vol. 10, pp. 91-102.
- GARCÍA-RUIZ, José María; GÓMEZ-VILLAR, Amelia y ORTIGOSA, Luis María. *Aspectos dinámicos de un cauce fluvial en el contexto de su cuenca: el ejemplo del río Oja*. Jaca-Logroño: Instituto Pirenaico de Ecología e Instituto de Estudios Riojanos, 1987, 112 p.
- GARCÍA-RUIZ, José María y ORTIGOSA, Luis María. Algunos efectos geomorfológicos de las repoblaciones forestales: cambios en la dinámica de cauces en pequeñas cuencas del Pirineo Central español. *Cuaternario y Geomorfología*, 1988, vol. 2, nº 1-4, pp. 33-41.
- GARCÍA-RUIZ, José María; BEGUERÍA, Santiago; LÓPEZ-MORENO, Juan Ignacio; LORENTE, Adrián y SEEGER, Manuel. *Los recursos hídricos superficiales del Pirineo Aragonés y su evolución reciente*. Logroño: Geoforma, 2001, 192 p.
- GARCÍA-RUIZ, José María; LANA-RENAULT, Noemí; BEGUERÍA, Santiago; LASANTA, Teodoro, REGÜÉS, David; NADAL, Estela, SERRANO-MUELA, Pilar; LÓPEZ-MORENO, Juan Ignacio; ALVERA, Bernardo; MARTÍ BONO, Carlos y ALATORRE, Luis Carlos. From plot to regional scales: interactions of slope and catchment hydrological and geomorphic processes in the Spanish Pyrenees. *Geomorphology*, 2010, vol. 120, pp. 248-257.
- GÓMEZ-VILLAR, Amelia. *Conos aluviales en pequeñas cuencas torrenciales de montaña*. Logroño: Geoforma, 1996, 191 p.
- GÓMEZ-VILLAR, Amelia y MARTÍNEZ CASTROVIEJO, Ricardo. Channel degradation as a response to erosion control works: a case study. En: SALA, María; RUBIO, José Luis y GARCÍA-RUIZ, José María (Eds.). *Soil erosion studies in Spain*. Logroño: Geoforma, 1991, pp. 109-122.
- GÓMEZ-VILLAR, Amelia; MONTSERRAT, Gabriel; ORTIGOSA, Luis María y GARCÍA-RUIZ, José María. Colonización vegetal y actividad geomorfológica en abanicos aluviales del Pirineo Central español. *Cuaternario y Geomorfología*, 1994, vol. 8, nº 3-4, pp. 53-63.

- GRANADO, David. *Dinámica fluvial y vegetación de ribera del río Aragón en el tramo Jaca-Puente la Reina*. Zaragoza: Proyecto fin de carrera, Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, 2004.
- LEOPOLD, Luna Bergere y WOLMAN, Markley Gordon. River channel pattern: braided, meandering and straight. *U.S. Geological Survey, prof. paper*. 1957, vol. 282B, pp. 39-85.
- LIÉBAULT, Frédéric y PIÉGAY, Hervé. Causes of 20th century channel narrowing in mountain and piedmont rivers of Southeastern France. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2002, vol. 27, pp. 425-444.
- LOBERA, Gemma; BESNÉ, Pedro; VERICAT, Damià, LÓPEZ TARAZÓN, José Andrés; TENA, Álvaro; ARISTI, Ibon; DÍEZ, José Ramón; IBISATE, Askoa; LARRAÑAGA, Aitor; ELOSEGI, Arturo y BATALLA, Ramon. Geomorphic status of regulated rivers in the Iberian Peninsula. *Science of the Total Environment*, 2015, vol. 508, pp. 101-114.
- LÓPEZ-MORENO, Juan Ignacio. *Cambio ambiental y gestión de embalses en el Pirineo Central español*. Zaragoza: Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, 2006, 208 p.
- LÓPEZ-MORENO, Juan Ignacio; BEGUERÍA, Santiago; VALERO, Blas y GARCÍA-RUIZ, José María. Intensidad de las avenidas y aterramiento de embalses en el Pirineo Central español. *Ería*, 2003, vol. 61, pp. 159-167.
- LÓPEZ-MORENO, Juan Ignacio; BEGUERÍA, Santiago y GARCÍA-RUIZ, José María. Trends on high flows in the central Spanish Pyrenees: response to climatic factors or to land-use change? *Hydrological Sciences*, 2006, vol. 51, nº 6, pp. 1039-1050.
- LÓPEZ-MORENO, Juan Ignacio; BENISTON, Martin y GARCÍA-RUIZ, José María. Environmental change and water management in the Pyrenees: facts and future perspectives for Mediterranean mountains. *Global and Planetary Change*, 2008, vol. 61, pp. 300-312.
- MARTÍN VIDE, Juan Pedro; FERRER-BOIX, Carles y OLLERO, Alfredo. Incision due to gravel mining: modeling a case study from the Gállego River, Spain. *Geomorphology*, 2010, vol. 117, pp. 261-271.
- MARTÍNEZ CASTROVIEJO, Ricardo; INBAR, Moshe; GÓMEZ-VILLAR, Amelia y GARCÍA-RUIZ, José María. Cambios en el cauce aguas abajo de una presa de retención de sedimentos. *I Reunión Nacional de Geomorfología*, Teruel, Sociedad Española de Geomorfología, 1990, pp. 457-468.
- MARTÍNEZ CASTROVIEJO, Ricardo; GÓMEZ-VILLAR, Amelia y GARCÍA-RUIZ, José María. Ajustes fluviales derivados de cambios de usos del suelo en el Pirineo Aragonés. *Cuaternalario y Geomorfología*, 1991, vol. 5, pp. 91-105.
- MONTGOMERY, David R. y BUFFINGTON, John M. Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin*, 1997, vol. 109, pp. 596-611.
- NAVAS, Ana; VALERO, Blas; GASPAS, Leticia; GARCÍA-RUIZ, José María; BEGUERÍA, Santiago; MACHÍN, Javier y LÓPEZ VICENTE, Manuel. Variabilidad espacial del transporte de sedimento en la cuenca superior del río Aragón. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 2008, vol. 34, pp. 39-60.
- OLLERO, Alfredo. Inundaciones y ordenación del territorio fluvial en la cuenca del Ebro. En: CHASTAGNARET, Gérard y GIL OLCINA, Antonio (Dir.). *Riesgo de inundaciones en el Mediterráneo occidental*. Alicante: Casa de Velázquez y Universidad de Alicante, 2006, pp. 239-272.
- OLLERO, Alfredo. Alteraciones geomorfológicas de los ríos en Europa y principios para la restauración de su dinámica. En: GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, Marta (Ed.). *Ríos y sostenibilidad. Semana temática "Agua para la vida"*, Zaragoza: Tribuna del Agua de la Exposición Internacional Zaragoza 2008, 2008.
- OLLERO, Alfredo. Los cauces fluviales como indicadores de cambio global: propuesta metodológica. *Zubía*, 2011, vol. monográfico 23, pp. 187-200.
- OLLERO, Alfredo. *Guía metodológica sobre buenas prácticas en restauración fluvial (manual para gestores)*. Zaragoza: Contrato de río del Matarraña, ECODES, 2015, 111 p.
- OLLERO, Alfredo y ROMEO, Rafael (Coord.). *Las alteraciones geomorfológicas de los ríos*. Madrid: Mesas de trabajo de la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos, Ministerio de Medio Ambiente, 2007.
- PIÉGAY, Hervé; GRANT, Gordon; NAKAMURA, Futoshi y TRUSTRUM, Noel. Braided river management: from assessment of river behaviour to improved sustainable development. En: SAMBROOK SMITH, Gregory H.; BEST, James L.; BRISTOW, Charles S. y PETTS, Geoff E. (Eds.). *Braided rivers: processes, deposits, ecology, and management*. Oxford: Blackwell, 2006, pp. 257-275.
- PIÉGAY, Hervé; ALBER, Adrien; SLATER, Louise y BOURDIN, Laurent. Census and typology of braided rivers in the French Alps. *Aquatic Sciences*, 2009, vol. 71, pp. 371-388.
- RUBIO, Virginia. *Dinámica fluvial del río Ara (Pirineo Aragonés)*. Madrid: Tesis doctoral, Dpto. de Geografía, Universidad Autónoma de Madrid, 1995.

RUBIO, Virginia y HERNÁNDEZ, Carmen. La evolución reciente del cauce del río Ara. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 1990, vol. 16, nº 1-2, pp. 99-108.

SURIAN, Nicola; ZILIANI, Luca; COMITI, Francesco; LENZI, Mario Aristide y MAO, Luca. Channel adjustments and alteration of sediment fluxes in gravel-bed rivers of North-Eastern Italy: potentials and limitations for channel recovery. *River Research and Applications*, 2009, vol. 25, pp. 551-567.

VALERO, Blas; NAVAS, Ana; MACHÍN, Javier y WALLING, Des. Sediment sources and siltation in mountain reservoirs: a case study from the Central Spanish Pyrenees. *Geomorphology*, 1999, vol. 28, pp. 23-41.

WARD, James V.; TOCKNER, Klement; EDWARDS, Peter J.; KOLLMANN, Johannes; BRETSCHKO, Gernot; GURNELL, Angela M.; PETTS, Geoff E. y ROSSARO, Bruno. A reference river system for the Alps: the 'fiume Tagliamento'. *Regulated Rivers: Research and Management*, 1999, vol. 15, pp. 63-75.