

## EL MEANDRO DE LA PEÑA EL CUERVO: UN EJEMPLO DE LA DINÁMICA FLUVIAL ACTUAL DEL BAJO GÁLLEGO (DEPRESIÓN DEL EBRO)

José Luis Peña Monné<sup>1</sup>, Virginia Rubio Fernández<sup>2</sup>,  
Luis Alberto Longares Aladrén<sup>1</sup> y Miguel Sánchez Fabre<sup>1</sup>

(1) Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza  
jlpena@unizar.es; lalongar@unizar.es; msanchez@unizar.es

(2) Dpto. de Geografía, Universidad Autónoma de Madrid  
virginia.rubio@uam.es

**Resumen:** La dinámica del curso bajo del río Gállego ha cambiado de forma significativa tras las transformaciones generadas en las últimas décadas por la acción humana. Como testimonio de su funcionamiento actual, se analiza uno de los meandros de este tramo fluvial durante las crecidas de 2003-2004, en el que se pone de manifiesto su comportamiento mixto. Por una parte, en momentos de crecida es capaz de generar barras lobuladas y transversas con una trayectoria y funcionamiento más cercano al sistema *braided*, mientras que al descender su caudal genera rupturas de barras, que alimentan la formación de *point-bars* y la recuperación de su trazado meandriforme habitual. Esta dinámica alternante genera rupturas de pendiente, con rápidos que, en ocasiones, se ven incrementados localmente por cambios en la resistencia del sustrato, al que consigue acceder el río como consecuencia de los procesos de incisión activados en época reciente.

**Palabras clave:** Río Gállego, dinámica fluvial, barras fluviales, incisión.

**Abstract:** During the last decades transformations due to human action have caused significant changes in the lower Gállego River fluvial dynamics. As a testimony to its nowadays running, we analyze one meander of this river reach during the 2003-2004 floods, when its mixed behaviour was clearly seen. On one hand, while flooded this river is able to build lobed and transverse bars with trajectory and development

quite close to a braided system. On the other hand, when the flow decreases, it generates bar breaks that supply the formation of point-bars and consent the recovery of the usual meandering course. This alternating dynamic is responsible of subsequent irregularities in the slope with rapids that are sometimes enhanced by changes in the resistance of the substratum, which is accessible by the river as a consequence of recent incision processes.

**Keywords:** Gállego River, fluvial dynamics, fluvial bars, incision.

## Introducción

El río Gállego sitúa su cabecera en la Zona Axial del Pirineo central, desde donde realiza un largo recorrido a través de las Sierras Prepirenaicas y el norte de la Cuenca del Ebro hasta confluir en Zaragoza con el río Ebro (Fig. 1). Desde la localidad de Zuera, a unos 30 km de su desembocadura, el río se introduce en las formaciones de yesos y sales miocenas de la Formación Zaragoza (Quirantes, 1978), pertenecientes a la Unidad Tectosedimentaria T5 (Alonso-Zarza et al, 2008); desde ese punto las terrazas fluviales pleistocenas de este río pasan a ser de tipo escalonado a tipo encajado (*fill inset* y *fill overlapping* de Leopold et al, 1964) debido a las deformaciones kársticas generadas por procesos de disolución del sustrato infrayacente (Benito et al, 1996, 1998, 2000), lo que origina engrosamientos aluviales y superposición de niveles de terraza de distinta cronología (Benito et al, 2010). El sustrato evaporítico mioceno apenas llega a aflorar, a pesar de los procesos de incisión actuales que afectan al curso bajo del río Gállego (Marcos-González, 1991; Martín-Vide et al, 2010).

En este marco geológico y geomorfológico se sitúa el curso meandriforme del río Gállego, que en su confluencia con el Ebro (estación de aforo de Zaragoza) registra un caudal medio anual de 12,5 m<sup>3</sup>/s, tras derivar gran parte de sus aguas para el canal de Monegros y los regadíos del curso bajo (Ollero et al, 2004). Este sector fluvial podría clasificarse originalmente como de régimen pluvio-nival, aunque muy alterado en la actualidad en su capacidad de crecida y torrencialidad (García Ruiz et al, 2001). Sin embargo, los picos de crecida registrados durante los años 2003-2004, a pesar de no tratarse de eventos de gran magnitud, dieron lugar a cambios morfológicos significativos en el lecho fluvial. Si bien estos cambios dinámicos se han constatado en varios meandros (Peña et al, 2005), se ha seleccionado como ejemplo representativo el de la Peña el Cuervo, situado al sur de la localidad de Peñaflor (Fig. 1).

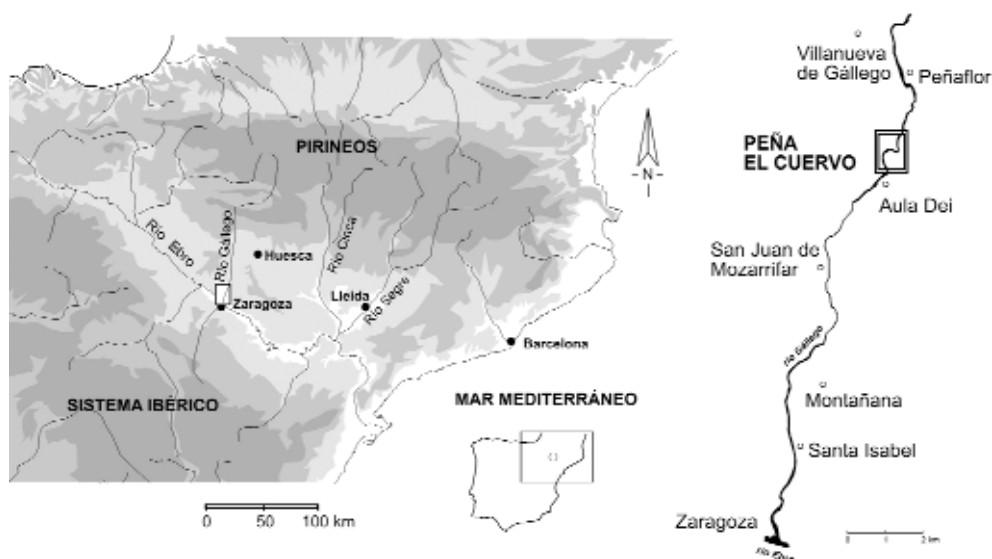


Figura 1. Mapa de situación del curso bajo del Gállego en la Depresión del Ebro y localización del meandro de la Peña el Cuervo.

## 1. Objetivos y método

El objetivo de este trabajo es mostrar las consecuencias morfosedimentarias de pequeños eventos de crecida fluvial en el Bajo Gállego, reconstruyéndolos a través de varias secuencias de barras observadas en campo en el meandro de la Peña el Cuervo. El establecimiento de un esquema de funcionamiento para la crecida de septiembre de 2004, gracias a su observación directa y cartografía detallada, puede servir para la reconstrucción de la formación de barras durante otras dos crecidas producidas durante 2003 y analizar los datos hidrológicos y demás factores generales y locales que las originaron. El fin último es proponer un modelo de funcionamiento hidromorfológico para eventos futuros en los meandros del Bajo Gállego en aquellos momentos en los que confluyan los mismos factores que en el caso analizado.

Se ha elaborado una cartografía geomorfológica a escala 1:8.000, utilizando ortofotomágenes de marzo de 2004, en las que aparecen las barras generadas en las crecidas del año anterior (Fig. 2). El trabajo de campo efectuado a lo largo de septiembre-octubre de 2004 y en marzo de 2005 permitió completar y actualizar la cartografía, incluyendo los cambios acaecidos en la avenida de septiembre de 2004, antes de su colo-

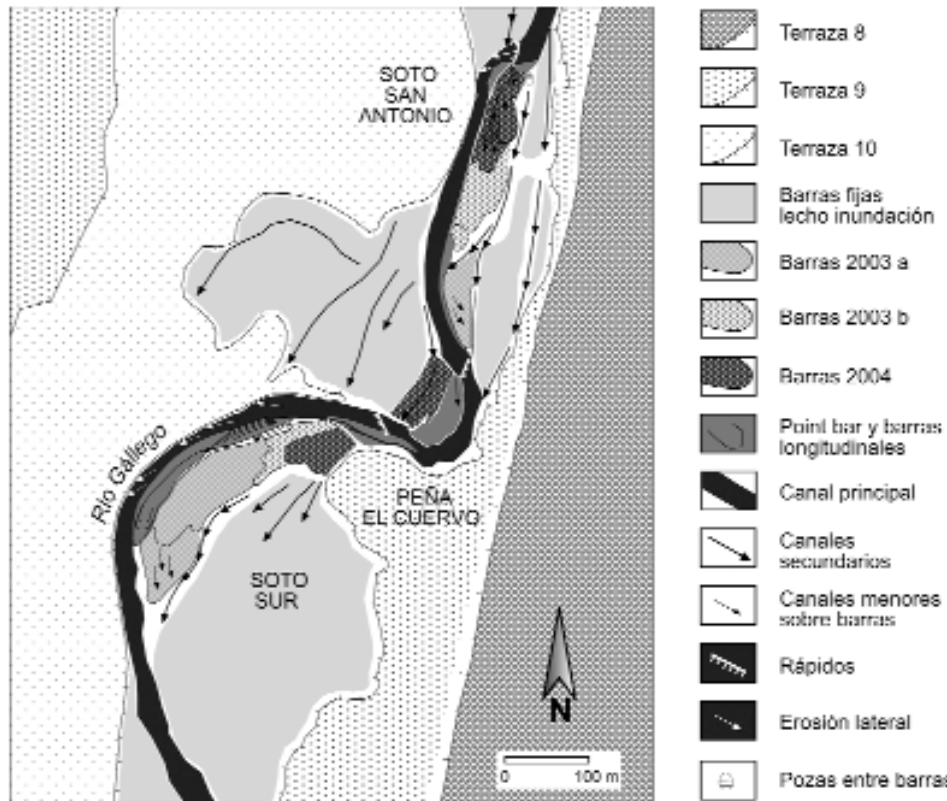


Figura 2. Mapa geomorfológico del sector del meandro de la Peña el Cuervo tras la crecida del 8 de septiembre de 2004.

nización vegetal. Igualmente se han efectuado diversos cortes transversales mostrando la estructura y distribución de distintas etapas de barras y su vegetación. Aunque hubiera sido interesante una validación del modelo con una nueva crecida similar a las descritas, desde entonces no ha habido otros eventos parecidos.

## 2. Características de las barras fluviales y clasificación morfocronológica

El río Gállego discurre adosado completamente a la orilla cóncava del meandro de la Peña el Cuervo, que forma un escarpe de 6-7 m de altura compuesto por la superposición de los niveles de terraza 8 y 9 de este río (Rubio et al, 2005). Su margen con-

vexo presenta, por el contrario, un gran desarrollo de la terraza subactual (terrazza 10), con sólo 0,60-0,80 m de escarpe, de manera que el canal fluvial ocupa una posición disimétrica (Fig. 2). El trazado del río ha variado notablemente desde el año 1927, del que se disponen fotogramas aéreos verticales de la Confederación Hidrográfica del Ebro, momento en el que mantenía todavía características de río *braided*. Únicamente la orilla cóncava del meandro aparece ya desde 1956 con la misma disposición que posee hoy día, seguramente por la gran dificultad para erosionar el conglomerado fuertemente cementado de las terrazas antiguas que forman sus paredes (Figs. 3A, 3B, 4.2, 4.6). Incluso se observan huecos y cavidades que apenas han evolucionado en los últimos 40 años así como un profundo *pool*, que da lugar a una zona de fuertes turbulencias de la corriente, que ha ocasionado en los últimos años varias víctimas entre los bañistas que acuden en verano. El tipo de canal dominante es el meandriforme (*meandering channel* de Leopold y Wolman, 1957; *meandering tipo b* de Schumm, 1977, 1985), con un patrón de “crecimiento por rotación” (Brice, 1974), sinuosidad superior a 1,5 (Leopold et al, 1964) y de trazado simple.

Para una mejor descripción, estableceremos una división del meandro en tres sectores (Fig. 2): El Soto San Antonio, al Norte, el lóbulo de la Peña el Cuervo, en el centro, y el sector sur, ya pasado el punto de inflexión del meandro. Se han diferenciado tres unidades de acumulaciones fluviales:

### 2.1. Barras fijas del lecho de inundación

Están ocupando antiguos canales del río (Soto San Antonio) y zonas de antiguos meandros. Estas viejas barras han sido colonizadas por la vegetación, que tras las primeras etapas dominadas por comunidades de terófitos y caméfitos, hoy presentan las típicas formaciones riparias maduras/adultas, con variación en su densidad, y en las que su funcionalidad hidromorfológica actual queda reducida a eventos de gran energía. En tales momentos, el agua invade los antiguos canales y desborda finalmente en la llanura aluvial. Al Sur de la Peña El Cuervo, las barras más recientes alcanzan mayor altura que este lecho de inundación, de manera que actúan como diques naturales que impiden, en gran medida, la llegada de sedimentos a las barras antiguas.

### 2.2. Barras fluviales transversales y con morfología lobulada

Se extienden prácticamente a lo largo de todo el tramo fluvial, formando una franja de unos 40-70 m de anchura, especialmente en la orilla izquierda (Soto San Antonio y Soto Sur de la Peña El Cuervo) y en el lóbulo del meandro de la propia Peña, pudiendo diferenciarse tres etapas de formación de barras:

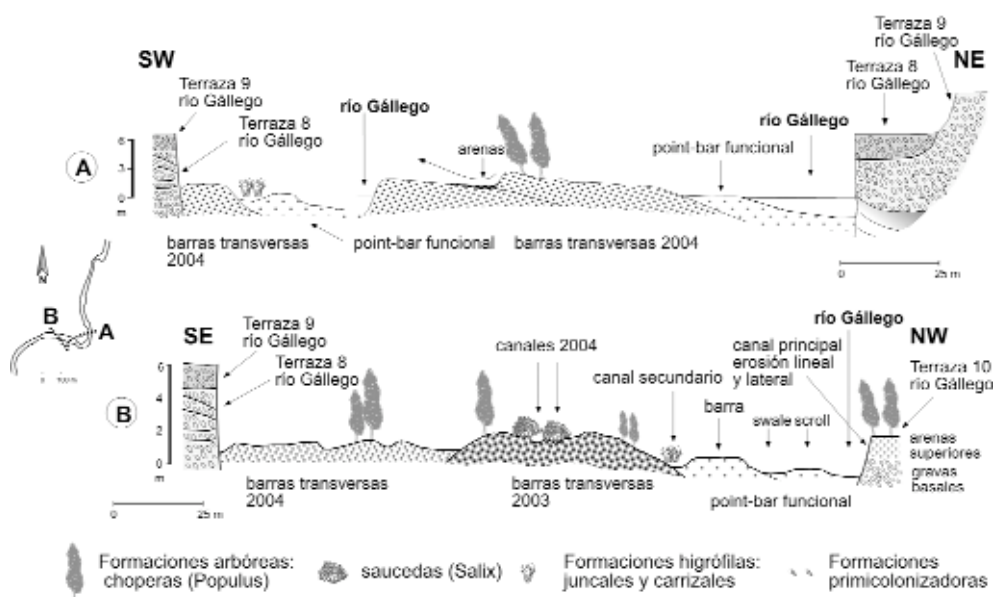


Figura 3. Cortes transversales A y B en el meandro de la Peña el Cuervo, con diferenciación de las barras de 2003 y 2004, así como las áreas con colonización vegetal.

**-La etapa más antigua (barras 2003 a)**, perteneciente en su mayor parte a la crecida de febrero-marzo de 2003, se conserva en el extremo meridional del Soto de San Antonio, donde su morfología de barra lobulada ha quedado fuertemente degradada por la circulación de canales de crecidas posteriores. En pleno lóbulo del Sur de la Peña El Cuervo, encontramos la barra más extensa (longitud cercana a los 280 m), que mantiene todavía rasgos morfológicos de la barra original con caras de avalancha en su parte frontal y lobulaciones interiores (Fig. 3B). Apenas tiene vegetación arbórea, aunque se observan de forma dispersa plántulas de *Populus nigra* y diversas oportunistas como *Inula viscosa*, *Xanthium spinosum*, *Eruca vesicaria* o *Diplotaxis erucoides*. Estas barras quedaron cubiertas por el agua en las crecidas posteriores, por lo que en su parte frontal aparecen sedimentos más finos procedentes del lavado superficial de la barra, que favorecen la colonización de *Paspalum sp.*, *Scrophularia canina* y *Scirpus holoschoenus*.

**-La segunda etapa (barras 2003 b)** se localiza en los sotos San Antonio y Sur. Se generó con las crecidas de noviembre-diciembre de 2003, superponiéndose sus depósitos a la cola de las barras antiguas y quedando asimismo parcialmente cubiertas por las barras más recientes (*barras 2004*). La barra más extensa se sitúa en el Soto San Antonio con 120 m de longitud (Fig. 2). La granulometría de los sedimen-

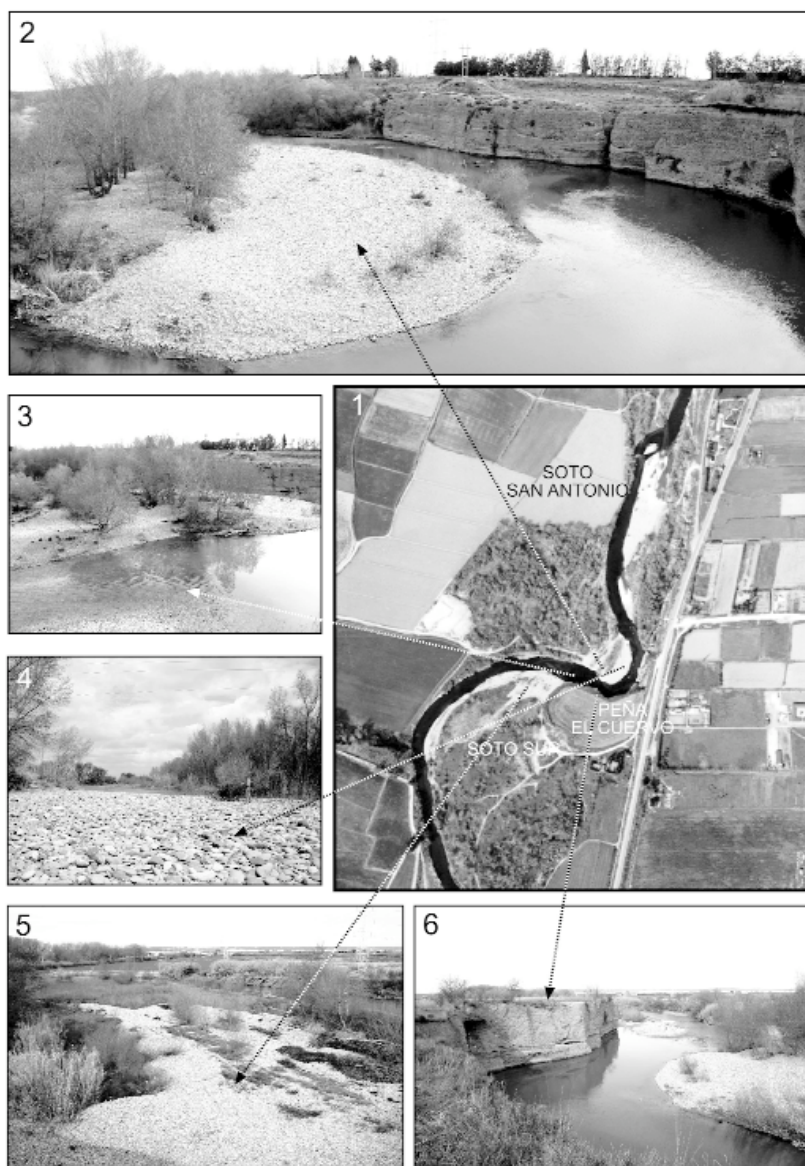


Figura 4. Imágenes del meandro de la Peña el Cuervo en marzo de 2004 (Fot.1) y posteriores a la crecida de septiembre de dicho año (Fots. 2 a 6). (1) Fotografía aérea vertical. (2) Barras lobuladas enterrando los troncos de la vegetación de ribera. (3) Rápido tras la rotura de la barra transversa con posterioridad a la crecida. (4) Gravas de *point-bar* creado tras la rotura mencionada. (5) Barra transversal con caras de avalancha, al sur de la Peña el Cuervo. (6) Escarpe de la parte cóncava del meandro (terrazas pleistocenas 8 y 9) y barras lobuladas junto al *point-bar*.

tos se caracteriza por gravas de 8-10 cm de tamaño medio. Presenta frentes de avalancha (*lee-set*) bien definidos y superficialmente aparecen lobulaciones.

**-Las barras más recientes (barras 2004)** se produjeron como consecuencia de la crecida de septiembre de 2004. Pueden observarse al norte del Soto de San Antonio, donde aparece una barra (125 m de longitud) que se superpone sobre una barra anterior (Fig. 2). Se orienta en dirección N-S quedando su cola al nivel del flujo de agua actual y su frente de avalancha presenta lobulaciones. La gran energía de la descarga fluvial, al encontrarse con barreras de troncos de árboles arrancados y posteriormente frenados por la vegetación *in situ* produjo flujos supercríticos, ascendiendo la corriente por el obstáculo y generando en su caída una poza alargada (10 x 4 m y 2,5 de profundidad) desde cuyo extremo meridional surge una de las barras transversas. En el lóbulo del meandro de Peña el Cuervo se conserva una estrecha franja con vegetación arbórea que corresponde a los restos de una barra anterior que al ser remontada por la crecida de 2004 ha acumulado un gran espesor de gravas (2,5 m) (Fig. 3A). La vegetación ha quedado parcialmente enterrada (Figs. 4.2, 4.3) y junto con los troncos arrastrados por la corriente han ejercido el mismo efecto que el citado en el Soto San Antonio. Al Sur de la Peña el Cuervo se extiende otra barra de morfología lobulada (Fig. 4.5), que se adosa al escarpe de las terrazas 8-9 del río. El extremo N de la barra queda colgado a 1,25 m, y en realidad no constituye la cola original de la barra sino que es parte del cuerpo central prolongándose desde el meandro anterior antes de que fuera cortada posteriormente por el canal principal tras la crecida. En su frente, la cara de avalancha, se coloca sobre barras anteriores y pequeños canales que han dejado surcos sobre la superficie de la barra. Estas formas se prolongan sobre la barra inferior que aflora en la parte frontal, modelándose tras la vegetación pequeños microformas cónicas y convexas.

### 2.3. Barras longitudinales y point bars

Las barras transversales recientes del sector Norte del Soto San Antonio desvían la corriente fluvial hacia el W donde comienzan distintas alternancias de rápidos y *point-bars* (Fig. 2 y Figs. 4.2, 4.4, 4.6, 3A y B). También se observa, en el amplio meandro del Soto Sur, la existencia de un *point-bar* bien desarrollado, con morfología alargada, y huellas de acreción lateral marcadas por la alineación de la vegetación; en su parte SO esta barra adopta estructura lobulada. Por otra parte, en la orilla opuesta, el río excava un escarpe erosivo en los materiales de gravas y arenas de la terraza 10.

### 3. Etapas de construcción de barras

La descripción y análisis de las barras formadas en 2004 y su clara diferenciación de los sistemas de barras anteriores (2003 a y b), permite establecer un orden evolu-



tivo en el desarrollo de las mismas. Por otra parte, podemos suponer que en cada una de las tres etapas diferenciadas se han repetido los mismos procesos de forma encadenada, de manera que vamos a utilizar solamente las observaciones de septiembre de 2004, ayudados de unos esquemas evolutivos (Fig. 5). De todas formas, la intención es que sirvan de modelo general para conocer la formación de las barras anteriores.

Cuando se genera el pico de crecida, que en 2004 fue muy breve, el flujo principal de agua conforma un cauce amplio y un lecho de inundación marginal, ocupando zonas de barras fijas, predominantemente ocupadas por materiales finos. Las barras anteriores son cubiertas de agua y parcialmente alteradas por pequeños canales, al tiempo que nuevas barras de gravas van migrando y superponiéndose a ellas (Fig. 5.1). El

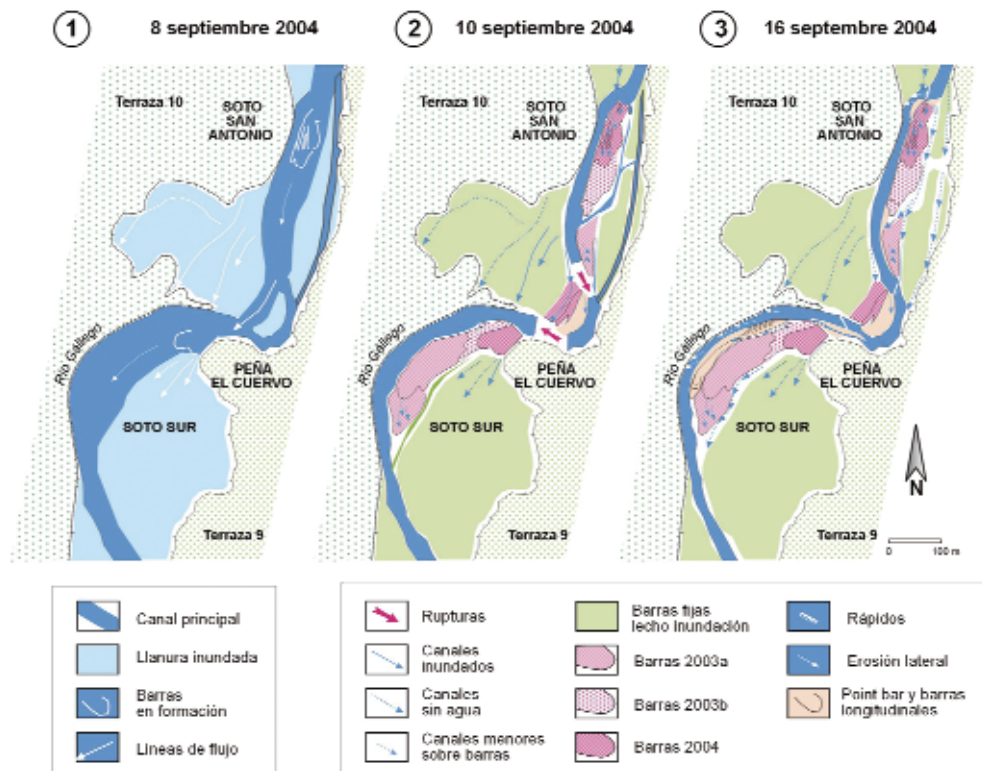


Figura 5. Evolución del meandro de la Peña el Cuervo durante la crecida de septiembre de 2004. (1) Flujo principal y área inundada el día de la crecida. (2) Emersión de las barras de 2003 a y b y las nuevas de 2004; proceso de rotura de barras. (3) Formación de los rápidos y las nuevas barras de *point-bar*.

posterior proceso de emersión de las barras, una vez que disminuye el caudal (Fig. 5.2), va acompañado de la concentración del flujo en un canal menor que corta algunas de las barras recién formadas para volver a su trazado en meandro. Esto da lugar inmediatamente a la formación de rápidos en las zonas de ruptura (Fig. 5.3); el material extraído por esta incisión se acumula en los *point-bar* del lóbulo central del meandro y en el inicio de la sinuosidad siguiente, aguas abajo de la Peña el Cuervo (Fig. 5). El espesor alcanzado por las sucesivas barras de gravas forma verdaderos diques naturales que obligan a la línea principal de la corriente a dirigirse hacia la orilla cóncava, especialmente al sur de la Peña (Fig.5.3), generando erosión por socavamiento de la orilla, formada por materiales poco cohesivos, pertenecientes a la terraza 10 del río. Al mismo tiempo, las barras sufren un proceso de lavado de sedimentos finos que determina un acorazamiento (*armouring*) superficial de gravas finas. La posición que ocupan las barras de gravas de las otras dos etapas (2003 a y b) parecen mostrar una génesis similar, manteniendo el mismo dispositivo evolutivo; por sus dimensiones –mayores que las de 2004– nos hacen pensar en crecidas también de mayor magnitud.

#### 4. Relación con eventos hidrológicos

La deducción final del párrafo anterior puede ser confirmada acudiendo a los datos de caudales proporcionados por la estación de aforo de Zaragoza (Dirección General del Agua-CEDEX, 2008), situada a sólo unos 11 km de la Peña el Cuervo. La revisión de los momentos de avenida permite establecer tres secuencias significativas (Fig. 6) para febrero-marzo de 2003, noviembre de 2003 y septiembre de 2004, en las que puede hablarse de crecidas y caudales punta importantes, manifestados por cifras altas de caudal medio diario y sobre todo de máximas instantáneas. De esta forma, las barras de la etapa más antigua y de mayor desarrollo (barras 2003 a) son consecuencia del caudal medio de 454,2 m<sup>3</sup>/s del día 27 febrero de 2003, que alcanzó una máxima instantánea de 600,2 m<sup>3</sup>/s, continuándose el episodio con un pico secundario menor entre el 5 y 7 de marzo. Las barras 2003 b resultan de sucesivos picos de caudal de 17 y 24 de noviembre y del 3 de diciembre de 2003, con dos picos importantes de 293,5 m<sup>3</sup>/s y 226,8 m<sup>3</sup>/s, destacando la fuerte máxima instantánea del día 24 de noviembre (636,6 m<sup>3</sup>/s). Por último, las barras de 2004, como ya hemos indicado se forman por la crecida de 8 de septiembre de ese año. Duró solamente un día y alcanzó un caudal medio de sólo 117,2 m<sup>3</sup>/s, aunque con una máxima instantánea de 369 m<sup>3</sup>/s. Si observamos los datos de estaciones de aforo situadas aguas arriba, como Sta. Eulalia, estos eventos de crecida fueron menores, especialmente el 8 de septiembre de 2004 (19 m<sup>3</sup>/s y máxima instantánea de 36,1 m<sup>3</sup>/s), por lo que son crecidas con gran influencia de las lluvias registradas en la cuenca media-baja. En años

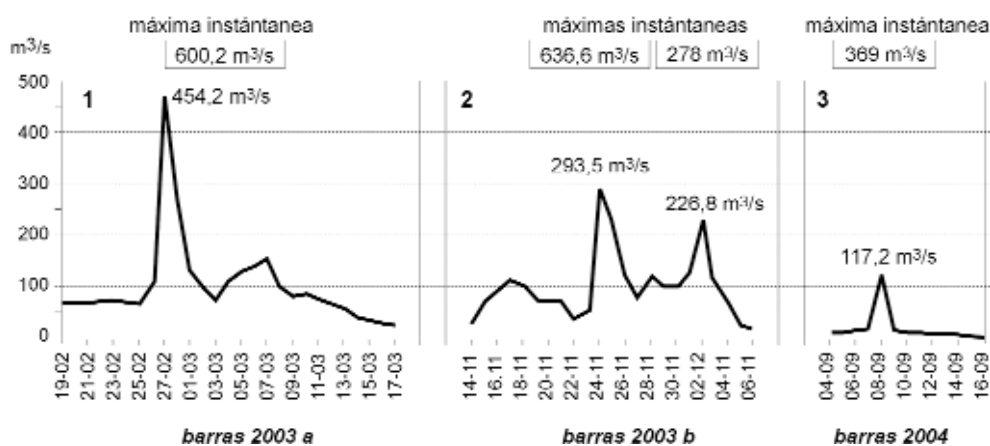


Figura 6. Gráficas del caudal medio diario del río Gállego, en la estación de aforo de Zaragoza, durante los eventos de crecida de febrero-marzo de 2003 (1), noviembre de 2003 (2) y septiembre de 2004 (3). Las cifras con recuadro indican los valores máximos instantáneos de cada uno de los picos de crecida. Fuente: Dirección General del Agua-CEDEX (2008).

posteriores a 2004, aunque ha habido varias crecidas, especialmente en 2010, apenas se produjeron movilizaciones de barras al no alcanzarse máximas instantáneas tan elevadas. De manera que las posibles causas de la dinámica de barras observada en el Bajo Gállego habría que relacionarlas con lluvias intensas en el curso medio-bajo, ocasionando picos bruscos de corta duración pero con alta concentración de flujo, capaz de generar procesos dinámicos de formación de varios tipos de barras de gravas. La regulación que puedan realizar los embalses en la cuenca alta podría ser una causa complementaria, aunque más difícil de evaluar.

## 5. El origen de la carga de fondo en el Bajo Gállego

Enlazando con lo anteriormente expuesto, uno de los requerimientos imprescindibles para que se formen las barras de grava –además de unos picos de caudal especialmente elevados y concentrados– es precisamente el aprovisionamiento de carga gruesa en un curso bajo como el que estamos analizando. En su situación anterior a los años 1960, en que todavía el río conservaba sus características de canales múltiples trenzados (*braided*) la carga esencial era de material fino, con canales de gravas y gravillas dispersos, lo que se puede constatar con la simple observación de los perfiles de la terraza 10, que sería el lecho de inundación para esa época. Las fuertes

intervenciones en la cuenca en forma de embalses, motas, diques, azudes, estrechamientos del cauce por escombreras y vertederos, desviación de caudales, etc, impide en la actualidad la llegada de grandes masas de sedimentos en las crecidas. Por otra parte, la explotación de gravas en el curso bajo, unido a alguno de los factores anteriormente citados, pueden ser el origen de los procesos de incisión que actualmente afectan al río Gállego (Marcos-González, 1991; Martín-Vide et al, 2010). Pero precisamente es la incisión lo que proporciona a este río dos propiedades importantes para comprender su dinámica de barras transversas y lobuladas en la Peña el Cuervo y en otros meandros del valle. Por una parte, le permite alcanzar las formaciones de gravas antiguas que existen por debajo de la terraza holocena, cuyas edades se sitúan en el Pleistoceno medio y superior (Benito et al, 2010) y corresponden a una dinámica fluvial de carácter fluvio-glaciar, es decir generada por las descargas de fusión de los grandes glaciares pirenaicos durante el Pleistoceno, de ahí su grueso calibre. Por otra parte, la penetración de la incisión en estos viejos depósitos pone al descubierto puntualmente dolinas rellenas que se generaron por subsidencia del sustrato de yesos mioceno; se da la circunstancia de que tales dolinas aluviales están rellenas de limos, arcillas y turbas (Peña et al, 2005), a veces de notable espesor, que el río Gállego excava con gran facilidad favoreciendo aún más el proceso general de incisión a través de la aparición de tramos fluviales con rápidos.

## 6. Conclusiones

El río Gállego, en su curso bajo, tuvo hasta finales de la década de 1960, como puede apreciarse en las imágenes aéreas de 1927, 1945 y 1957, un dispositivo trenzado de llanura aluvial amplia, sin márgenes restrictivos y con canales múltiples, sin embargo, en los últimos decenios, como se ha apreciado en el meandro de la Peña el Cuervo, han cambiado notablemente sus características dinámicas debido a la intervención humana de diferentes formas. Actualmente, se produce un predominio de la movilización de barras de gravas en fases de crecida, que le dan el aspecto de un curso medio fluvial. La dinámica observada en las barras formadas entre febrero-marzo-noviembre de 2003 y septiembre de 2004 consiste en la movilización de gravas en un sistema *braided* restringido, con barras transversales y formas lobuladas que se superponen en distintas avenidas. En el tránsito a momentos de baja energía se forman *point-bars* y se remodelan las barras anteriores por la incisión de pequeños canales. Esta dinámica tan activa se explica a causa de eventos hidrológicos caracterizados por máximas instantáneas elevadas y picos de corta duración, pero se ve apoyada también por los propios procesos de incisión que caracterizan al río Gállego desde los años 1960 así como por la existencia de rápidos relacionados con cambios en la resistencia del sustrato, que aporta gran parte de la carga que compone las barras.

## 7. Bibliografía

- Alonso-Zarza, A.M., Armenteros, I., Braga, J.C., Muñoz, A., Pujalte V. y Ramos, E. (Coord.) (2002). Tertiary. En Gibbons, W. y Moreno, T. (eds.). *The Geology of Spain*, 293-324. The Geol. Society of London,
- Benito, G., Gutiérrez, F., Pérez-González, A. y Machado, M.J. (2000). Geomorphological and sedimentological features in Quaternary fluvial systems affected by solution-induced subsidence. *Geomorphology*, 33, 209-224.
- Benito, G., Pérez-González, A., Gutiérrez, F. y Machado, M.J. (1998). River response to Quaternary large-scale subsidence due to evaporate solution (Gállego River, Ebro Basin, Spain). *Geomorphology*, 22, 243-263.
- Benito, G., Pérez-González, A., Gutiérrez, F. y Machado, M.J. (1996). Modelo morfosedimentario de evolución fluvial cuaternaria en condiciones de subsidencia kárstica de evaporitas (río Gállego, cuenca del Ebro). *Cuad. Geol. Ibérica*, 21, 395-420.
- Benito, G., Sancho, C., Peña, J.L., Machado, M.J. y Rhodes, E.J. (2010). Large-scale karst subsidence and accelerated fluvial aggradation during MIS6 in NE Spain: climatic and paleohydrological implications. *Quaternary Science Reviews*, 29, 2694-2704.
- Brice, J.C. (1974). Evolution of meander loops. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 85, 581-586.
- Dirección General del Agua-CEDEX (2008). *Anuario de Aforos 2005-2006*. 2 t. (Confederaciones Hidrográficas) y edición digital en DVD. Mº M. Ambiente y M. Rural y Marino-Mº de Fomento.
- García Ruiz, J.M., Beguería, S., López, J.I., Lorente, A. y Seeger, M. (2001). *Los recursos hídricos superficiales del Pirineo Aragonés y su evolución reciente*. Logroño, Geoforma, 193 p.
- Leopold, L.B., Wolman, M.G. (1957). River channel patterns: braided, meandering and straight. *U.S.G.S. Prof. Paper*, 292-3.
- Leopold, L.B., Wolman, M.G. y Miller, J.P. (1964). *Fluvial processes in geomorphology*. Freeman, 522 p.
- Marcos González, A. (1991). Análisis de la evolución reciente de la morfología del cauce del Bajo Gállego en las proximidades de Zaragoza: influencia de las actuaciones humanas en su entorno. *Acta Geol. Hispánica*, 26(1), 23-33.
- Martín Vide, J.P., Ferrer, C. y Ollero, A. (2010). Incision due to gravel mining: Modelling a case study from the Gállego River, Spain. *Geomorphology*, 117, 261-271.
- Ollero, A., Sánchez, M., Marín, J.M., Fernández, D., Ballarín, D., Mora, D., Montorio, R., Beguería, S. y Zúñiga, M. (2004). Caracterización hidromorfológica del río Gállego. En Peña, J.L., Longares, L.A. y Sánchez-Fabre, M. (eds.). *Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*, 117-129. Zaragoza, Univ. Zaragoza e Inst. Fernando el Católico.
- Peña, J.L., Rubio, V. y Ángeles, G. (2005). Niveles morfogenéticos y acumulaciones cuaternarias del Bajo Gállego (Zaragoza). En Ollero, A. y Martín-Vide, J.P. (Coord.) *Estudio hidrológico, geomorfológico, hidrográfico y ecológico del Bajo Gállego en el término municipal de Zaragoza para su gestión como espacio fluvial*. Informe Técnico Ay. Zaragoza, 1-30. Zaragoza (inéd.).
- Quirantes, J. (1978). *Estudio sedimentológico del Terciario continental de los Monegros*. Zaragoza, Inst. Fernando el Católico, 200 p.

- Rubio, V., Peña, J.L., y Longares, L.A. (2005). Morfología de barras y dinámica fluvial del Bajo Gállego (Zaragoza). En Ollero, A. y Martín-Vide, J.P (Coord.) *Estudio hidrológico, geomorfológico, hidráulico y ecológico del Bajo Gállego en el término municipal de Zaragoza para su gestión como espacio fluvial*. Informe Técnico Ay. de Zaragoza, 1-34. (inéd.).
- Schumm, S.A. (1977). *The fluvial system*. N.York, Wiley, 338 p.
- Schumm, S.A. (1985). Patterns of alluvial rivers. *Ann. Rev. Earth Planet Sci.*, 13, 5-27.