



II CONGRESO IBÉRICO
DE RESTAURACIÓN FLUVIAL

RESTAURA RIOS 2015

SEMINARIO FINAL DEL PROYECTO LIFE+TERRITORIO VISIÓN
PAMPLONA-NAVARRA

9, 10 y 11 DE JUNIO DE 2015

ACTAS DEL CONGRESO



CIREF
centro ibérico de
restauración fluvial



**Gobierno
de Navarra**



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

BASES Y RESULTADOS PRELIMINARES DEL PROYECTO EXPERIMENTAL DE RESTAURACIÓN Y DE CREACIÓN DE HÁBITAT PARA EL VISIÓN EUROPEO EN EL RÍO ARAGÓN (NAVARRA)

*César Pérez Martín, **Margarita Manzano Serra, **Oda Cadiach Ricomà, **Roger Pascual Garsaball, **Camino Jaso León, **Guillermo García Pérez, ***Juan Pedro Martín-Vide

(*) *Servicio del Agua. Gobierno de Navarra.*

(**) *MN Consultores en Ciencias de la Conservación.*

(***) *Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental. Universidad Politécnica de Cataluña.*

e-mail: ggarcia@mnconsultors.com

Resumen

Los procesos de incisión fluvial a escala territorial favorecidos por la acción del hombre son un fenómeno creciente en amplios dominios hidrogeográficos de la Europa continental. Cuando tienen lugar en cursos meandriformes de llanura aluvial y vienen acompañados de medidas de estrechamiento y protección que limitan los ajustes geomorfológicos horizontales, conducen hacia una simplificación estructural en formas de encajonamiento de hábitos cuadrangulares. Es conocida la relación entre dicha simplificación geomorfológica y el consecuente empobrecimiento del rango de variabilidad morfodinámica del sistema y, en último término, de su complejidad y diversidad ecológica, incluyendo la desaparición de humedales perifluviales. Dichas relaciones han sido estudiadas ensayando medidas experimentales de restauración morfofuncional en tramos afectados por incisión. Se exponen las bases teóricas y las claves conceptuales del diseño del modelo hidrogeomorfológico y ecológico escogido, la validación hidráulica y morfodinámica preliminar de éste, la experiencia adquirida en su ejecución material, así como un avance de algunos resultados preliminares.

Palabras clave: Incisión fluvial, simplificación estructural, biodiversidad, transporte de sedimentos, restauración fluvial

Abstract

Fluvial incision processes favored by human activity at a territorial scale are a growing phenomenon in numerous hydrogeographic domains of Europe. When vertical degradation affects meandering streams systems and are accompanied by narrowing and implementation of stabilization measures, then lateral geomorphological adjustments by bank erosion, widening and migrations are strongly limited, leading to a simplification of channel forms towards quadrangular geometries. Morpho-functional restoration measures in reaches affected by incision have been assayed, assessing the relationship between geomorphological simplification by incision and the consequent impoverishment of the range of morphodynamic variability and, ultimately, pauperization of habitat heterogeneity and biological diversity of the system, including the disappearance of perfluvial wetlands. The theoretical design and conceptual keys of the hydrogeomorphological and ecological model chosen are presented, as well as hydraulic and morphodynamic validation of it, the experience gained in its engineering implementation, and a preview of some preliminary results.

Keywords: Incised rivers, geomorphological simplification, biodiversity, sediment transport, fluvial restoration

1. Introducción

En Europa, las fluctuaciones climáticas iniciadas con la irrupción de la Pequeña Edad del Hielo (Lamb, 1995; Man 2002) se vieron acompañadas de una desestabilización generalizada de las vertientes, fruto de las perturbaciones en las cubiertas del suelo derivadas de un extensivo pero intenso modelo de aprovechamiento silvícola y agropastoral (Thornes, J.B., 1999). Todo ello marcó un periodo, entre el s. XVI y la segunda mitad del s. XIX, en el que tuvo lugar una fuerte inyección de sedimentos en los sistemas fluviales, con la consecuente acreción y reactivación del dinamismo de sus lechos, lo que afectó a los cursos de montaña y piedemonte, y a sus llanuras aluviales subsiguientes, e incluso a la formación de deltas. Dicho proceso se encuentra bien documentado tanto a escala global (Goudie, A., 1986), como en los sistemas

fluviales que drenan relieves montañosos de la orogenia alpina en contextos mediterráneos (e.g.: Bravard, 1989, en los Alpes, y García-Ruiz y Valero-Garcés, 1998; García-Ruiz, 2010; García-Ruiz y López-Bermúdez, 2009, en los Pirineos ibéricos).

Ya desde el inicio del s. XX (Lapparent, 1907) ha venido siendo profusamente documentado un nuevo periodo, especialmente activo hoy día, en el que se constata una inversión súbita de dichas dinámicas. Se caracteriza por la incisión y estrechamiento generalizado de los cauces, en el que Liébault y Piégay (2002) diferencian dos subciclos: una primera etapa respondería a una simple atenuación de la intensidad hidrodinámica relacionada con la propia inversión de las tendencias climáticas. El segundo ajuste fluvial comportaría también una reducción en la respuesta hidráulica y en la carga sólida aferente, pero habría sido inducido por el hombre a través del abandono agroganadero contemporáneo (García-Ruiz y Lasanta, 1990 para la vertiente pirenaica sur), y fuertemente agravado por intervenciones físicas directas, como la regulación hidrológica y sedimentaria (embalses), las canalizaciones y estructuras de protección y contención, los dragados, o las rectificaciones de trazado. A partir de los años 60 del pasado siglo aparecen trabajos en los que la relación precisa de cada una de dichas intervenciones con los procesos de incisión, estrechamiento y simplificación geomorfológica fue cuidadosamente estudiada (e.g.: Williams y Wolman, 1984; Bravard et al., 1997; Kondolf et al., 2002; García-Ruiz, J. M.; Lana-Renault, N., 2011), quedando recogido dicho conocimiento en la literatura y obras de síntesis (Schumm 1977; Kondolf y Piégay, 2003).

Por otro lado, el marco conceptual teórico que relaciona la heterogeneidad estructural de los hábitats y la promoción de la riqueza de especies ha sido bien demostrado en trabajos empíricos en el campo de la ecología clásica (McCoy y Bell, 1991), consolidándose también como un paradigma dominante en ecología fluvial, donde ha sido ampliamente relacionada la diversidad morfodinámica y geomorfológica con la riqueza biológica. De acuerdo con él, las simplificaciones hidrodinámicas y morfológicas conducen hacia un empobrecimiento de la heterogeneidad espacio-temporal de los hábitats (HH), ya sea expresada como complejidad física, estructural, topográfica y granulométrica, o como diversidad biotópica (Tokeshi y Arakaki, 2012). Sin embargo, son aún poco conocidos los mecanismos y relaciones que subyacen (Ward y Tockner, 2001; Kovalenko et al. 2012) mientras que algunos autores apuntan que su aplicación en el campo de la conservación y la restauración fluvial no es satisfactoria y requeriría de una revisión crítica (Palmer et al. 2010).

Las problemáticas de incisión, estrechamiento y simplificación hasta aquí descritas han afectado en los últimos decenios los tramos inferiores del río Aragón, donde se enmarca el proyecto experimental de Sotocontiendas (río Aragón, cuenca del Ebro, Navarra) (Fig. 1). Éste, junto al bajo Arga, conformaba aquí un complejo fluvial influenciado por singulares factores geográficos y geológicos. Procesos de dilución cárstica y subsidencia sinsedimentaria afectaban a los relieves paleógenos subdesérticos de las Bardenas, con los que contactaba el río a su paso (Benito et al., 1998; 2000). Por ello, mientras dichos relieves eran fácilmente diluidos y transformados en extensas vegas aluviales a cargo de la acción fluvial, el proceso iba acompañado de constantes cambios topográficos, lo que hizo de este sistema uno de los más dinámicos a escala ibérica (Fig. 2a). Nació así un ecosistema fluvial extraordinario y un paisaje natural y cultural singular, simbólico y altamente representativo de la geografía ibérica: La Ribera Navarra. Dicho paisaje estaba dominado por meandros libres, que en su divagar por el territorio generaban un complejo de lagunas de origen fluvial, impensables en este contexto hidrogeográfico de no ser por dicha dinámica. Éstas, interrelacionadas por el continuo fluvial, conformaban un sistema de humedales continentales de gran trascendencia ecológica, hoy día seriamente amenazado (Berastegui et al. 2015). No en vano el sector aún acoge la mejor población de la Europa meridional de visón europeo (*Mustela lutreola*), considerado uno de los mamíferos más amenazados del planeta (Schreiber, 1989).

La inquietud por controlar tal dinamismo llevó a la construcción de defensas y estrechamientos y al impulso de intensos dragados (Ibáñez et al., 2013; Martín-Vide, et al., 2012). Todo ello, unido a la regulación de la cuenca y a encauzamientos y acortamientos de trazado en su tributario, el río Arga, indujo un proceso acelerado de incisión del río (Martín-Vide, et al. 2010; 2012), inhibiendo su movilidad y su capacidad para modificar su morfología generando nuevos humedales. Las 'madres viejas' (brazos abandonados) preexistentes, hoy desconectadas del cauce principal, continúan su camino natural hacia la colmatación, y conforman un caso paradigmático que ilustra la silenciosa desaparición de los humedales ibéricos de origen fluvial (Berastegui et al, 2015). Los cauces, por su parte, vieron simplificada su estructura morfológica y ecológica, y perdieron la capacidad de generar humedales también en su eje principal (pequeños canales y pozas laterales). La característica riqueza productiva de los dominios riparios se ha visto diluida por su

aislamiento de los procesos hidráulicos y sedimentológicos y por la desconexión topográfica del aluvial derivada de la incisión. Este fenómeno compromete también cualquier posibilidad de regeneración de nuevos sotos naturales, cuya representación queda relegada a los notables pero comprometidos bosques aluviales preexistentes, que sobreviven en dominios donde la incisión ha sido menor y el crecimiento de sus sistemas radiculares ha podido acompañar sincrónicamente a la depresión de los cauces.

El proyecto de Sotocontiendas ha sido concebido como un ensayo piloto que permita sentar las bases para afrontar el difícil reto de revertir el deterioro del este singular ecosistema y la desaparición del paisaje asociado. Desafortunadamente, las alteraciones estudiadas afectan también amplios dominios de Europa y Norteamérica (Kondolf et al., 2002), por lo que la experiencia de Sotocontiendas, y muy especialmente su seguimiento a largo plazo, conformará una referencia experimental y aportará un conocimiento de incuestionable valor.

En el presente artículo se esboza el enfoque conceptual y metodológico y algunos resultados preliminares (principalmente morfodinámicos) del proyecto, en el que son ensayadas técnicas de lucha contra la incisión fluvial y la simplificación hidrogeomorfológica y ecológica en ríos meandriformes. Las actuaciones presentadas persiguen además la creación de hábitat para el visón europeo (zonas húmedas), y se enmarcan en el proyecto Life+ 'Territorio Visión' (LIFE09/NAT/ES/000531), desarrollado íntegramente en el seno de la Zona de Conservación Especial 'Tramos bajos de los ríos Arga y Aragón' [ES00035] (en adelante ZEC) (Fig. 1a).

Sotocontiendas es, con toda probabilidad, una de las escasas experiencias de la Europa mediterránea en la que son aplicadas medidas de restitución masiva de sedimentos al cauce -provenientes de antiguos dragados-, de reconstrucción geomorfológica (eliminación de estructuras, ensanchamiento y naturalización morfológica), y de recuperación funcional del territorio ripario bajo el principio de mínima intervención y de restauración pasiva, y en la que son analizados sus efectos sobre la diversidad biológica en cauces y riberas (Steiger et al., 2005). Configura además un hito cultural: el impulso del proyecto ha ido acompañado de un proceso modélico de sensibilización y concertación social en un territorio donde la omnipresencia del riesgo hidráulico había propiciado posiciones políticas y populares que venían exigiendo la disposición de estructuras de control y los dragados fluviales.

2. Metodología

Fue seleccionado Sotocontiendas como tramo experimental atendiendo a criterios de factibilidad social, legal y política, y de acuerdo con sus características y las alteraciones que lo afectan, representativas de las problemáticas que concurren en el resto de la ZEC.

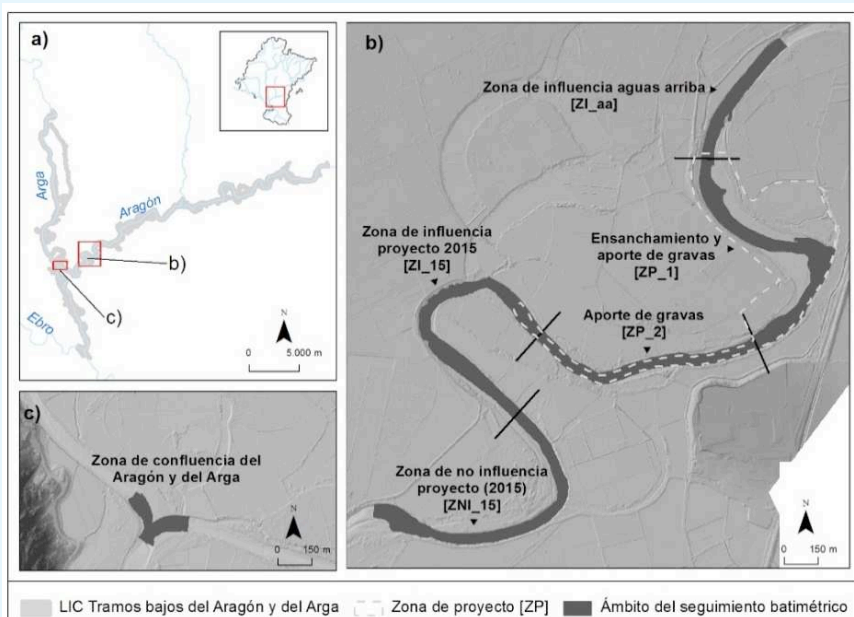


Figura 1. Emplazamiento geográfico de la ZEC (a) y sectorización del área de intervención [ZP_1 y ZP_2] y del conjunto del tramo monitorizado (b), incluyendo la confluencia de los ríos Aragón y Arga aguas abajo del área de proyecto (c)

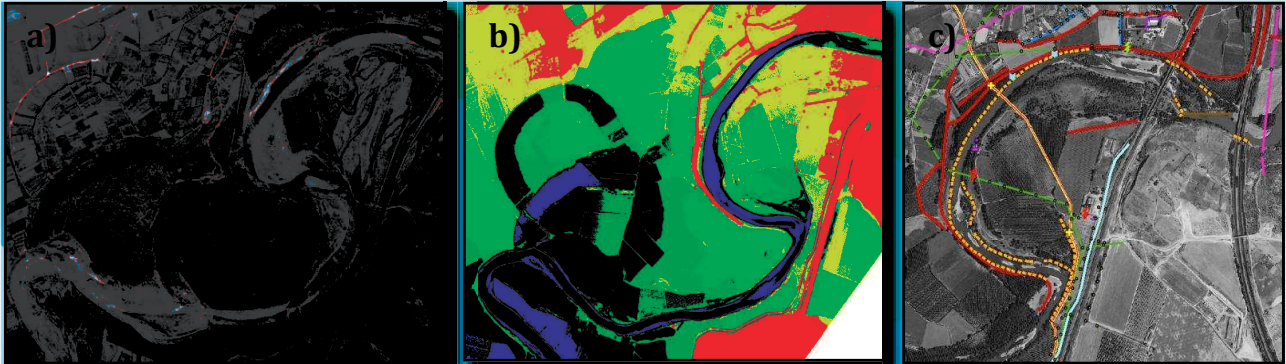


Figura 2. Dinamismo del sistema de meandros de Sotocontiadnas en 1966 (a), previamente a que se vieran intensificadas las medidas de estrechamiento y rigidización que concluirían con su simplificación morfológica (“entubamiento”) y con el avance de su incisión, tal y como se deduce del modelo digital del terreno del tramo elaborado el año 2009 (b). La última imagen (c) muestra el estrechamiento del tramo y su fosilización definitiva mediante motas (en rojo), escolleras (punteado naranja) y demás estructuras

2.1 Estudios preproyectuales

La concepción del modelo morfofuncional se basó en un análisis de alternativas respaldado a su vez en los estudios de diagnóstico geomorfológico y ecológico del tramo:

- (i) *Análisis geodinámico y geomorfológico:* Se centró en el estudio de las singulares relaciones entre la geodinámica externa que afecta al sector, la respuesta morfodinámica fluvial y la evolución geomorfológica derivada. Se llevó a cabo mediante trabajo de campo y el análisis de diferentes informaciones (trabajos previos, cartografía geológica, modelo de elevaciones topográfico y batimétrico, calicatas).
- (ii) *Análisis evolutivo morfofuncional del tramo,* tanto en planta (fotointerpretación de imágenes aéreas y ortofotogramétricas obtenidas entre 1927 y la actualidad: 1927, 1944, 1958, 1966, 1992, 2010), como de su perfil longitudinal (interpretación geomorfológica, estudio estratigráfico de antiguos lechos, evolución piezométrica de pozos, referencias topográficas obtenidas del análisis de fondos documentales históricos de proyectos).
- (iii) *Morfometría fluvial.* Estudio de formas actuales de cauce y lecho (mediante topobatimetrías de alta resolución de lecho y márgenes, trabajo de campo y fotointerpretación) y análisis mediante métodos empíricos de las relaciones entre anchuras del cauce y formas de lecho en tramos con diferentes grado de alteración.
- (iv) *Estudio granulométrico.* Obtención de muestras granulométricas del material aluvial en el entorno de estudio, complementando así otros datos conocidos (Ibisate et al., 2012).

2.2 Validación hidráulica y morfodinámica

El proyecto posee también una finalidad demostrativa a nivel social. Por ello, los estudios hidrodinámicos y morfodinámicos cobraron una singular importancia: debían servir para validar la morfología del modelo planteado, pero también para respaldar socialmente la inocuidad (a efectos de riesgo hidráulico) de retornar sedimentos al lecho y reactivar los procesos erosivos y de desbordamiento lateral.

- (i) *Validación hidráulica:* Se ha generado un modelo bidimensional (programa SRH-2D, Sedimentation and River Hydraulics-Two dimensional river flow modeling) para analizar el comportamiento hidrodinámico. La topografía se ha obtenido a partir de vuelos Lidar 1x1 (Tracasa 2009); utilizándose la hidrología ajustada en estudios previos (Sener, 2003) y las condiciones de contorno propuestas por Inclam, 2009 (GUAD 2D).
- (ii) *Validación morfodinámica:* El modelo morfodinámico es un modelo propio, unidimensional, basado en una ecuación de transporte y la de continuidad. Ha sido desarrollado para determinar la evolución del fondo (perfil longitudinal) del río al recibir un aporte de gravas de 100.000 m³ procedentes de la excavación de las obras. El modelo resuelve numéricamente la ecuación del flujo permanente gradualmente variado (o curva de remanso) y la ecuación de Exner (conservación de masa de sólidos), con las variables hidráulicas medias en secciones transversales y una distribución uniforme en las

secciones de los cambios de cota producto del desequilibrio de masa de sólidos. Se ha aplicado a 9,7 km. No se ha contado con medidas de transporte para establecer la fórmula de transporte sólido que mejor se ajusta al río (y por lo tanto el caudal dominante). Se obtuvieron muestras granulométricas de los lechos (véase 2.1), a las que se aplicó la ecuación de Meyer-Peter y Müller modificada por Wong y Parker, 2006.

2.3 El modelo conceptual y su ejecución material

El modelo morfofuncional y ecológico escogido plantea la naturalización de las formas como método para (i) recuperar los procesos formadores de lecho, (ii) restaurar las dinámicas laterales de desbordamiento y los procesos que de ellas dependen, (iii) invertir el balance sedimentario promoviendo el carácter deposicional, (iv) incrementar la disponibilidad de sedimentos y (v) aumentar la heterogeneidad de los hábitats y la diversidad biológica, posibilitando la formación de remansos laterales en el cauce (humedales). Se descartó finalmente la disposición de estructuras de control del perfil longitudinal como medida para estabilizar la incisión. El modelo se concretó en un proyecto cuya ejecución tuvo lugar entre febrero y noviembre de 2014. Las actuaciones de restauración fluvial alcanzaron un total de 32 ha y 2,5 km de río (actualmente se está proyectando la extensión del proyecto aguas abajo -Sotocontendas II- lo que amplía la intervención hasta los 5 km). Consistieron en:

- (i) La recuperación de los procesos geomorfodinámicos de ajuste lateral mediante la supresión de 985 m lineales de escollera y estructuras afines.
- (ii) La reactivación de los procesos de desbordamiento tras la eliminación de las estructuras de contención, lo que ha supuesto la retirada de 1.342 m lineales de motas.
- (iii) La restauración de los relieves y formas originales de acuerdo con los estudios morfométricos. Se ha resecionado 4,6 ha que han generado un volumen de excavación de 200.000 m³ de terreno, de los cuales 101.115 m³ han sido gravas y 98.885 m³ limos.
- (iv) El retorno de los sedimentos excavados (principalmente material dragado mediante el cual eran ocupadas las márgenes y construidas las motas). Se ha reintroducido 90.485 m³ de limos en el río aprovechando episodios de crecidas y se ha extendido las gravas en continuo a lo largo de 2,5 km creando un recrecimiento medio de 0,65 m.
- (v) La reconstrucción de la laguna que había existido pretéritamente y que fue colmatada con finalidades silvícolas. Constituye un hábitat de gran valor para el visón europeo.

2.4 Monitoreo hidrogeomorfológico, ecológico y biológico

Para poder evaluar en adelante las relaciones entre las mejoras morfológicas y funcionales introducidas gracias al proyecto y sus efectos sobre la HH y el paisaje, así como para llevar a cabo el seguimiento del grado de cumplimiento de los objetivos planteados, fueron desarrollados trabajos de caracterización de la diversidad estructural y ecosistémica del tramo y del comportamiento de los lechos de manera previa a la ejecución (mar. 2013-feb. 2014):

- (iii) Heterogeneidad ecosistémica y cambios hidrogeomorfológicos: Cartografía de alta resolución de los hábitats CORINE (CEC, 1991; MN Consultores, 2010) y estudio de las formas y estructuras de lecho mediante topografías y batimetrías de alta densidad.
- (iv) Seguimiento biológico: estudio de grupos biológicos indicadores de los hábitats acuáticos (macroinvertebrados) y riparios (aves y flora), mediante censos y muestreos específicos del tramo intervenido y de tramos control (de referencia e impactados).

A día de hoy (de manera posterior a la ejecución de las obras), se dispone ya de una repetición de la batimetría, ejecutada en crecida y mediante ecosonda, lo que ha permitido obtener un modelo digital de elevaciones, tanto del fondo del cauce como de sus márgenes. Entre la finalización de las obras (nov. 2014) y el nuevo levantamiento batimétrico (mar. 2015), han tenido lugar episodios de crecida que se corresponderían con la máxima crecida ordinaria ($Q_{2,33}$) de acuerdo con la caracterización hidrológica en régimen natural del tramo (fig. 4a). Su comparación con la batimetría previa a las obras aporta una primera aproximación al comportamiento morfosedimentario del tramo para este primer periodo transcurrido.

Queda por determinar la frecuencia con que serán repetidos en el futuro los estudios señalados, así como

la posibilidad de reproducir los modelos hidrodinámicos y morfodinámicos partiendo de la geometría finalmente ejecutada, la caracterización real de los sedimentos aportados, y las series hidrológicas que han circulado desde la finalización de las obras.

3. Resultados preliminares y discusión

El seguimiento del tramo a largo plazo deberá aportar los datos que permitan valorar el ajuste entre el comportamiento morfofuncional y ecológico real y el previsto. No obstante, a día de hoy se ha obtenido una experiencia valiosa en algunos aspectos que resultan de interés en la práctica proyectual y ejecutiva. También se dispone de datos preliminares referidos al nuevo comportamiento morfodinámico del tramo.

En el capítulo de las técnicas proyectuales, cabe destacar que se ha obtenido un ajuste notable en los volúmenes de excavación y la caracterización granulométrica (proporciones de gravas y finos) que pronosticaban el estudio geomorfológico y estratigráfico, lo que valida las metodologías puestas a punto para solucionar las incertidumbres proyectuales al respecto. Otras incertidumbres afrontadas en fase proyectual concernían a la capacidad de difusión de finos y al comportamiento deposicional de estos aguas abajo de los puntos de aporte. El seguimiento de la colmatación de fondos aluviales, islas y márgenes para garantizar que no eran afectados los hábitats bentónicos, ha permitido comprobar que la técnica es válida, lo que permite minimizar el coste económico de movimientos de tierras (transporte) y compensar el déficit de caudal sólido en ríos regulados.

Los datos preliminares de que se dispone (Fig. 3, Fig.4b) señalarían que el comportamiento morfofuncional del tramo es altamente análogo al previsto. Los resultados de los estudios hidro y morfodinámicos de validación del modelo (previos a la obra), concluían que el efecto sobre la inundabilidad en el tramo sería inapreciable, y que el relleno perduraría en el tramo ensanchado, mientras que en el resto de tramo el material no se acumularía sino que circularía aguas abajo. Tras la aportación prevista, el fondo del río Aragón se equilibraría al cabo de unos 100 días, entendidos como días de caudal equivalente (que se calculó en aproximadamente un 21% del $Q_{2,33}$). Por su parte, el río mantendría aguas abajo del tramo ensanchado las cotas y el pendiente inicial.

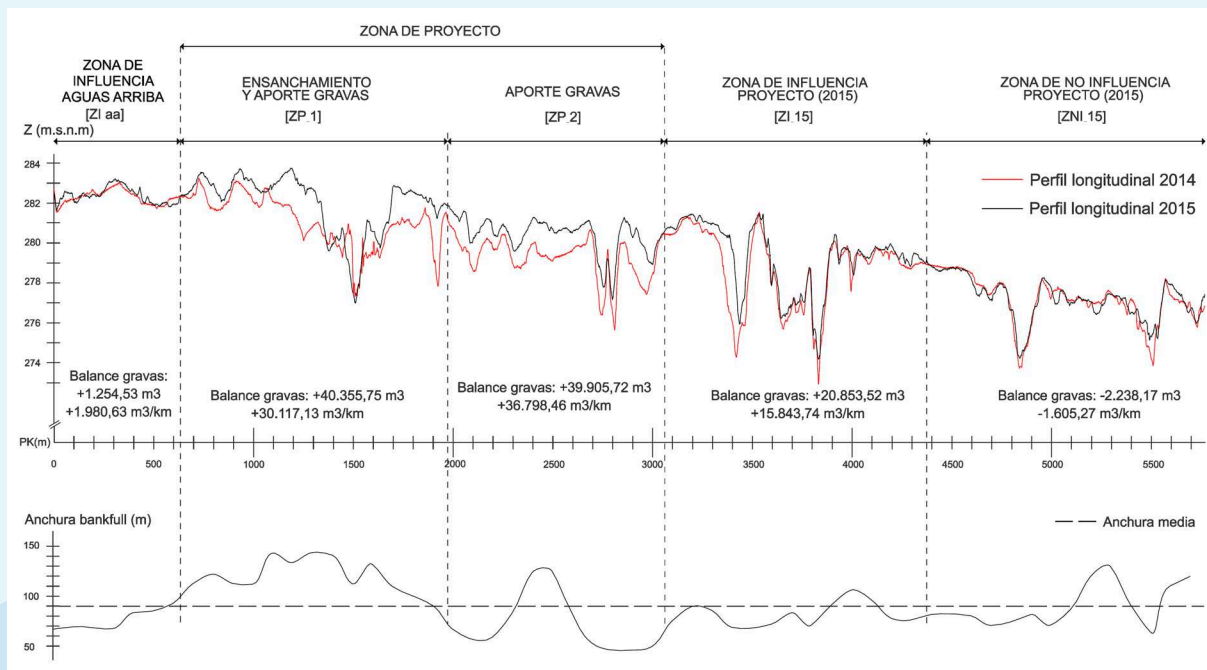
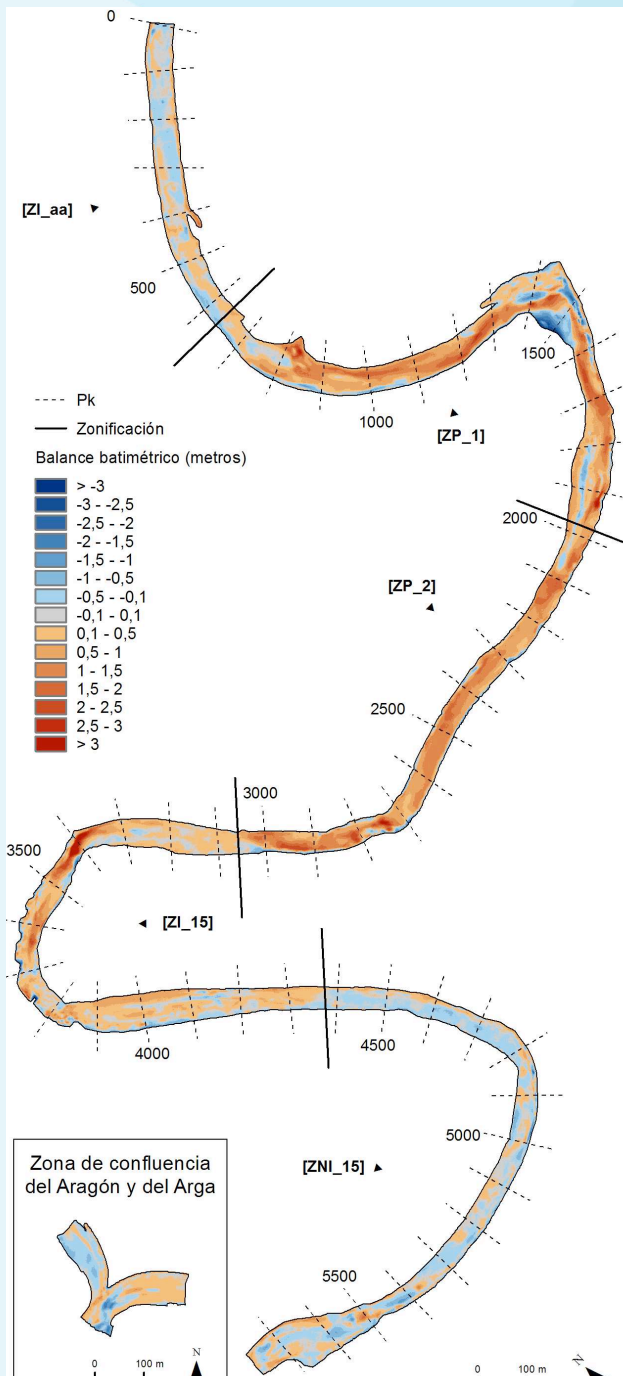
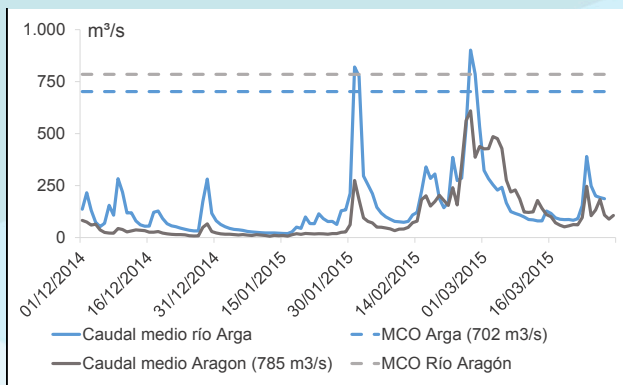


Figura 3. Primeros resultados de los balances sedimentarios del tramo monitorizado. El perfil rojo se corresponde con las cotas de fondo previas al inicio del proyecto (feb. 2014), mientras que la línea negra representa el perfil del tramo en marzo de 2015, tras la aportación del material y el episodio de crecidas acontecido (Fig. 4a). En la base de la figura se aporta un gráfico representando las anchuras del cauce en su coronación de desbordamiento (bankfull), lo que permite apreciar las relaciones morfofuncionales



El episodio de crecidas acontecido de manera posterior (ene-feb. 2015) al aporte de gravas y a las correcciones morfológicas (Fig. 4a), ha contribuido a delatar el comportamiento morfofuncional real del tramo (Fig.1 y Fig.3). De acuerdo con el esquema teórico y las modelizaciones previas, se observa un primer tramo [ZI_aa], aguas arriba de las obras, en el que se constata una acreción remontante que debe de ser atribuida al efecto barrera del aporte (lo que deberá de ser confirmado con datos complementarios futuros). Señala, en todo caso, el efecto positivo que tiene este tipo de medidas aguas arriba de los tramos restaurados. Los sectores que han acogido las gravas parecen mantener un mayor o menor recrecimiento del lecho en función de su anchura, tal y como era de esperar (ZP_1, ZP_2). Aguas abajo del aporte, resulta nítida la delimitación entre el tramo que ya ha sido colonizado por las gravas movilizadas [ZI_15], y el que no [ZNI_15], lo que arroja información valiosa respecto a la capacidad de transporte del río. La ZNI_15 muestra una interesante alternancia longitudinal de áreas con balance de signo opuesto (Fig. 4b), aspecto que denota el transporte de sedimento mediante barras móviles característicamente influenciado por los flujos helicoidales propios de las curvaturas fluviales. Su balance es negativo y coherente con la tendencia a la incisión conocida. Por último, el balance de la confluencia es prácticamente nulo en su conjunto (para ambos ríos), si bien se constata una leve acreción en el río Aragón, compatible con la mayor magnitud registrada en la crecida del río Arga (Fig 4a), y su efecto sobre el río Aragón (sobreelevación y deposición).

Puede decirse, en conclusión, que la validación hidráulica y morfodinámica se muestra como un instrumento imprescindible en la concepción de proyectos de restauración en ríos incididos y en los procesos de concertación social.

Figura 4. a) Hidrograma (medias diarias) de los ríos Aragón (EA005, Caparros) y Arga (EA 004, Funes) entre la finalización de las obras (nov.2014) y la elaboración de la nueva batimetría (mar.14). b) Balance (azul=pérdida; rojo=ganancia) batimétrico del lecho entre feb. 2014 (inicio obras) y mar. 2015 (posterior a las obras y al episodio de crecidas)

Referencias

- Benito, G.; Pérez-González, A.; Gutiérrez, F.; Machado, M. J. (1998). *River response to Quaternary subsidence due to evaporite solution* (Gállego River, Ebro Basin, Spain). *Geomorphology*, 22(3), 243-263.
- 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 in the Ebro Basin, NE-Spain*. *Geomorphology*, 33, 209-224.
- Berastegi, A.; Urrea, F.; Pascual, R.; García, G.; Cadiach, O.; Campión, D.; Telletxea, G.; Jaso, C.. (2015). *La silenciosa desaparición de los humedales ibéricos de origen fluvial: el caso de los tramos bajos del aragón y el arga: análisis y prognosis de su evolución y retos de conservación*. Actas del II Congreso Ibérico de Restauración Fluvial. Pamplona, Junio 2015. [En este volumen]
- Bravard, J. P. (1989). *La métamorphose des rivières des Alpes françaises à la fin du Moyen Âge et à l'époque moderne*. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 25, 145-157.
- Bravard, J.-P.; Amoros, C.; Pautou, G.; Bornette, G.; Bournaud, M.; Creuzé des Châtelliers, M., Gibert, J.; Peiry, J.-L.; Perrin, J.-F.; Tachet, H. (1997), *River incision in south-east France: morphological phenomena and ecological effects*. *Regul. Rivers: Res. Mgmt.*, 13: 75–90.
- Commission of the European Communities (CEC). (1991). *CORINE biotopes manual*. Data specifications, part 2: Habitats of the European Community. EUR 12587/3. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities
- García-Ruiz, J.M.; Lasanta, T. (1990). *Land-use changes in the Spanish Pyrenees*. *Mountain Research and Development* 10 (3), 267-279.
- García-Ruiz, J.M.; López-Bermúdez, F. (2009). *La erosión del suelo en España*. Sociedad Española de Geomorfología, 441 pp., Zaragoza.
- García-Ruiz, J.M. (2010). *The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review*. *Catena* 81, 1-11.
- García-Ruiz, J. M.; Lana-Renault, N. (2011). *Hydrological and erosive consequences of farmland abandonment in Europe, with special reference to the Mediterranean region—a review*. *Agriculture, ecosystems & environment*, 140(3), 317-338.
- Goudie, A. (1986). *The human impact on the natural environment*. Blackwell, 338 pp., Oxford.
- Ibiate, A.; Martín-Vide, J. P.; Díaz, E.; Baldissoni, C. M.; Acín, V.; Granado, D.; Ollero, A. (2012). *Caracterización granulométrica de barras sedimentarias en la zona de confluencia de los tramos bajos de los ríos Arga y Aragón (Navarra)*. XII Reunión Nacional de Geomorfología, Santander 2012.
- Ibiate, A., Díaz, E., Ollero, A., Acín, V., & Granado, D. (2013). *Channel response to multiple damming in a meandering river, middle and lower Aragón River (Spain)*. *Hydrobiologia*, 712(1), 5-23.
- INCLAM (2009). Estudio hidrológico-hidráulico y elaboración de mapas de peligrosidad de inundaciones en la zona de la confluencia de los ríos Arga y Aragón en Navarra. GANASA, Navarra.
- Kondolf, G. M.; Piégay, H.; Landon, N. (2002). *Channel response to increased and decreased bedload supply from land use change: contrasts between two catchments*. *Geomorphology*, 45(1), 35-51.
- Kondolf, G.M.; Piégay, H. (Eds.). (2003). *Tools in Fluvial Geomorphology*. Wiley, 696 pp, Chichester.
- Kovalenko, K. E.; Thomaz, S. M.; Warfe, D. M. (2012). *Habitat complexity: approaches and future directions*. *Hydrobiologia*, 685(1), 1-17.
- Lamb, Hubert H. (1995). *The Little Ice Age*. En: *Climate, history and the modern world*. London: Routledge. pp. 211–241.
- Lapparent, A. de, (1907). *Leçons de géographie physique*. Masson, 728 pp, Paris.
- Liébault, F.; Piégay, H. (2002). *Causes of 20th century channel narrowing in mountain and piedmont rivers of southeastern France*. *Earth surface processes and landforms*, 27(4), 425-444.
- Mann, M. E. (2002). Little Ice Age. En: Michael C MacCracken and John S Perry. *Encyclopedia of Global Environmental Change, Volume 1, The Earth System: Physical and Chemical Dimensions of Global*

Environmental Change John Wiley & Sons.

McCoy E.D.; Bell S.S. (1991) *Habitat structure: the evolution and diversification of a complex topic*. In: *Habitat Structure: The Physical Arrangement of Objects in Space*. Chapman and Hall, 3–27 pp., London.

Martín-Vide, J.P. (coord.) et al. (2009): *Estudio de dinámica fluvial del río Aragón en Caparrosa*. Dpto. IHMA, UPC. Barcelona.

Martín-Vide, J.P. (coord.) et al. (2010). *Estudio morfodinámico del río Arga como consecuencia de su canalización*. Dpto. IHMA, UPC. Barcelona.

Martín-Vide, J.P. (coord.) et al. (2012). *Estudio de la incisión del río Aragón en Marcilla*. En: *Estudios de base del proyecto experimental de restauración morfofuncional del Río Aragón en Sotocontiendas*. Dpto. IHMA, UPC. Barcelona.

MN Consultores en Ciencias de la Conservación (2010). *Guía metodológica e interpretativa de la cartografía de los hábitats del espacio fluvial de las cuencas de Catalunya (versión 01)*. Agencia Catalana del Agua. Generalitat de Catalunya. Barcelona.

Palmer, M. A.; Menninger, H. L.; Bernhardt, E. (2010). *River restoration, habitat heterogeneity and biodiversity: a failure of theory or practice?*. *Freshwater biology*, 55(s1), 205-222.

Schumm, S., (1977). *The Fluvial System*. Wiley, 338 pp., New York.

Schreiber, A. (1989). *Weasels, civets, mongooses, and their relatives: an action plan for the conservation of mustelids and viverrids* (Vol. 3). IUCN.

SENER (2003). *Estudio de delimitación de zonas inundables y ordenación hidráulica de los ríos de la cuenca del Aragón e Irati en Navarra*. Gobierno de Navarra, Navarra.

Steiger, J.; Tabacchi, E.; Dufour, S.; Corenblit, D.; Peiry, J. L. (2005). *Hydrogeomorphic processes affecting riparian habitat within alluvial channel–floodplain river systems: a review for the temperate zone*. *River Research and Applications*, 21(7), 719-737.

TRACASA (2009). *Modelo Digital del Terreno (Proyección UTM–ETRS89 y cotas elipsoidales) de malla 1x1 con precisión de 15 cm y un MDS a partir de un vuelo LIDAR*. Gobierno de Navarra.

Thornes, J.B. (1999). *The hydrological cycle and the role of water in Mediterranean environments*. En: *Rural planning from an environmental systems perspective* (F.B. Golley and J. Bellot, eds.), Springer, pp. 85-107, Rotterdam.

Tokeshi, M.; Arakaki, S. (2012). *Habitat complexity in aquatic systems: fractals and beyond*. *Hydrobiologia*, 685(1), 27-47.

Ward, J. V.; Tockner, K. (2001). *Biodiversity: towards a unifying theme for river ecology*. *Freshwater Biology*, 46(6), 807-820.

Williams, G.P.; Wolman, M.G. (1984). *Downstream effects of dams on alluvial rivers*. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 1286, 83 pp.

Wong, M., & Parker, G. (2006). *Reanalysis and correction of bed-load relation of Meyer-Peter and Müller using their own database*. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(11), 1159-1168.