



LA RESTAURACIÓN FLUVIAL DEL EBRO MEDIO A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE SU DINÁMICA ECOLÓGICA E HIDROGEOMORFOLÓGICA

Fernando Magdaleno Mas¹ y José Anastasio Fernández Yuste²

fernando.magdaleno@cedex.es

¹Área de Ingeniería Ambiental, Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas (CEDEX, Ministerio de Fomento-Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino)

²U.D. Hidráulica e Hidrología, E.U.I.T. Forestal, Universidad Politécnica de Madrid

Resumen

El objetivo general de este trabajo es el planteamiento de la restauración fluvial del Ebro medio, a través de la caracterización de la evolución hidrogeomorfológica y ecológica de su sector central, en el periodo de tiempo comprendido entre los años 1927 y 2003. El sector central del río Ebro presenta un patrón meandriforme libre, y ha sufrido notables alteraciones en su régimen hidrológico y en los usos del suelo a lo largo de su llanura de inundación. La alteración física y ambiental de sus principales atributos es, no obstante, muy heterogénea entre sus diferentes sub-tramos.

Alrededor de este objetivo general, el trabajo desarrolla un análisis de los cambios sufridos por el régimen de caudales del río, en su sector central, a lo largo del siglo XX, y una caracterización de la alteración experimentada por sus principales componentes (caudales de estiaje, caudales bajos invernales, crecidas ordinarias y extraordinarias). El documento aborda, igualmente, la evolución espacial y temporal de sus principales parámetros geomorfológicos, y analiza la conveniencia del uso de un amplio conjunto de parámetros en la caracterización geomorfológica de un tramo fluvial de elevadas dimensiones, como el que representa el sector central del río Ebro. Adicionalmente, el trabajo describe la evolución espacio-temporal sufrida por los bosques riparios de la llanura de inundación del Ebro, evaluando las modificaciones sufridas por su conectividad longitudinal y transversal, y relacionando su evolución con las modificaciones desarrolladas en su patrón hidrogeomorfológico. Finalmente, el documento evalúa los principales procesos ecomorfológicos generados durante el siglo XX, y permite conocer el funcionamiento del sistema fluvial en el intervalo de tiempo 1927-2003, con especial atención a aquellos procesos que presentan una mayor significación ambiental, estudiando las implicaciones ecológicas de los cambios sufridos en la dinámica fluvial, y proponiendo las medidas necesarias para su restauración, así como los procedimientos precisos para la rehabilitación de los tramos que cuentan, en la actualidad, con una mayor presión antrópica.

Palabras clave: Ebro, morfología, dinámica, meandro, bosques de ribera

1. Introducción

La relación entre los cambios geomorfológicos de los ríos y la ecología de los ecosistemas fluviales es una cuestión que ha experimentado un lento pero progresivo desarrollo. Los procesos físicos son los responsables del mantenimiento de las características básicas de los sistemas fluviales y de su dinámica espacio-temporal, y son por ello básicos para la protección de la integridad ecológica de los ríos (Amoros & Petts, 1993; Petts, 2000).

Durante las tres últimas décadas se ha avanzado notablemente en la investigación sobre estas cuestiones, gracias a la utilización y análisis de series largas de datos de calidad, provenientes del seguimiento en campo y del uso de herramientas como la teledetección. Además, ha surgido una nueva línea de trabajo, como es la relación entre geomorfología y ecología. Diversos autores han demostrado el potencial de estas técnicas para cartografiar la morfología de los cauces (Gilvear & Winterbottom, 1992; Winterbottom & Gilvear, 1997), cuantificar los hábitats riparios (Whited *et al.*, 2002) o predecir la erosión (Winterbottom & Gilvear, 2000).

Por lo que respecta a la vegetación, ésta juega un papel clave en la modificación de las dimensiones del cauce, particularmente en aquellos casos en que, con anterioridad a la construcción de la presa, los cauces se caracterizaban por una elevada anchura y un escaso calado. La reducción en la frecuencia de las avenidas facilita, por lo general, el crecimiento de la vegetación dentro del cauce, como se puede ver, por ejemplo, en trabajos como los de Sherrard & Erskine (1991) o Merritt & Cooper (2000). En otras ocasiones (Magdaleno & Fernández, 2011), se ha reconocido el incremento artificial de los caudales de estiaje como el fundamento del crecimiento y estabilización de la vegetación en el cauce. El papel de la vegetación en la evolución morfológica del cauce ha sido reconocido



como un proceso activo. Una vez establecida, puede dominar diversos procesos fluviales locales, debido al efecto que produce sobre la resistencia al flujo, la sedimentación y la erodibilidad del cauce (Church, 1995; Johnson, 2000; Stallins, 2006). Tabacchi et al. (2000) sugieren tres procesos básicos por los que la vegetación influiría en los procesos hidrológicos: (i) el impacto físico de las formaciones y de los restos de vegetación de ribera sobre la hidráulica fluvial; (ii) el efecto de la fisiología de las plantas sobre el ciclo del agua; (iii) el efecto de la vegetación sobre la calidad del agua.

En el caso del río Ebro, diversos trabajos han abordado la evolución geomorfológica del curso medio del río, bien desde una perspectiva general (Ollero, 2007, 2010), bien mediante análisis detallados de los cambios ocurridos en segmentos concretos del río (Cabezas *et al.*, 2009). El complejo funcionamiento hidrológico, geomorfológico y ecológico del sector central del río Ebro, en su tramo de meandros libres, requiere una profundización de estos análisis, con objeto de conocer los mecanismos geomorfológicos predominantes en el último siglo, y conectarlos con los procesos ecológicos fundamentales del sistema fluvial.

Por ello, este trabajo pretende dar respuesta a las siguientes cuestiones:

- i. ¿Cuáles han sido los cambios experimentados por los elementos geomorfológicos más importantes en el sector central del río Ebro (a lo largo de 250 km), desde 1927 hasta 2003?
- ii. ¿Cuál ha sido la evolución consiguiente de la vegetación de ribera en la llanura de inundación del río en todo su sector central?
- iii. ¿Cuál ha sido la evolución espacio-temporal de los mecanismos de cambio?
- iv. ¿Qué implicaciones ecológicas se desprenden de este análisis, de cara a la gestión y restauración del río en las próximas décadas?

Mediante el análisis de estas cuestiones, este trabajo intenta ser una aproximación al conocimiento de la dinámica geomorfológica del río Ebro en los últimos 75 años, en los que ha pasado de soportar una presión antrópica moderada, en tramos concretos de su recorrido, a una presión muy intensa y que le afecta de manera generalizada, a través de la evolución de los parámetros que definen el efecto del trabajo geomorfológico del río en la conformación de su cauce y su llanura de inundación.

La utilización de las fotografías aéreas de 1927, 1956/57 y 2003 permite conocer la estructura geomorfológica del río en tres periodos de tiempo concretos. La imagen de 1927 se considera el estado de referencia inicial. Esta imagen representa, asimismo, un rango de referencia asociado a una compleja realidad física del río, que mantiene un rango de elevada variabilidad natural, tanto del cauce como de su llanura de inundación. Por ello, a lo largo de este trabajo se analiza la evolución sufrida por el río a partir de este estado inicial, que es imagen estática, pero también exponente de una realidad dinámica y compleja.

2. Materiales y métodos

2.1. Zona de estudio

La superficie objeto de este estudio comprende la llanura de inundación del tramo de meandros libres del río Ebro (NE España), entre Rincón de Soto (La Rioja) y el azud de Alforque (La Zaida, Zaragoza), que representa la práctica totalidad de la superficie meandriforme activa del cauce. Aguas arriba del límite elegido aún existe un pequeño tramo de comportamiento meandriforme, pero no existen materiales cartográficos históricos en esta zona que permitan realizar una evaluación comparada de la evolución geomorfológica del sistema. El tramo elegido se encuentra localizado en el centro de la Depresión del Ebro y de la cuenca hidrográfica de este río, y cuenta con una longitud aproximada de 250 km (fig.1).

La cuenca del Ebro tiene una superficie de 85,530 km², y es la segunda cuenca hidrográfica más extensa de la Península Ibérica. El río Ebro es el segundo río de la Península Ibérica en longitud (930 km) y en aportación de agua al mar (ca. 12,000 hm³ / año). La anchura media de su amplia llanura de inundación alcanza un valor de 3.2 km, alcanzando un máximo de 6 km. La llanura de inundación, en el sector central del río Ebro, alcanza una superficie de 739 km². El índice de sinuosidad era de 1.505 en el año 2003 (Ollero, 2007, 2010).



2.2. Materiales

Se utilizaron fotografías aéreas de 1927 y 1956/57, y ortofotografías digitales de 2003. Las fotografías aéreas de 1927 (en blanco y negro – escala aproximada 1:10000) y las ortofotografías digitales de 2003 (en color – escala aproximada 1:1000) fueron cedidas por la Confederación Hidrográfica del Ebro. Las fotografías aéreas de 1956/57 (también en blanco y negro – escala aproximada 1:10000) fueron cedidas por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.

Tanto las fotografías de 1927 como las de 1956/57 fueron digitalizadas en un escáner de sobremesa, a una resolución de 600 dpi. Las imágenes digitalizadas fueron georreferenciadas en Erdas 8.3, e importadas a un Sistema de Información Geográfica (Esri – ArcMap 9.1). Se utilizaron, como mínimo, 6 puntos de control para la georreferenciación, si bien en la mayor parte de los casos el número de puntos llegó a 10 (Spheroid: International 1909 - Datum: European 1950). Los puntos de control se eligieron de manera que se evitara la concentración de puntos en regiones concretas de la imagen, y se cuidó que los puntos de referencia correspondieran a elementos fácilmente identificables y no sujetos a variaciones espacio-temporales. En casi todos los casos se consiguió obtener errores de escasa magnitud, considerando la superficie de las áreas analizadas (por debajo de 2 metros).

3. Resultados y discusión

Los parámetros hidrológicos analizados (Magdaleno & Fernández, 2011a) muestran que, desde un punto de vista hidrológico, la afección al régimen de caudales generada por la regulación se manifiesta únicamente, de manera significativa, para los caudales más bajos, y en concreto, durante los meses más secos –agosto y septiembre-. En ellos, se observa un incremento muy importante del caudal, con respecto a los valores del régimen natural. En estos dos meses, el caudal medio diario mensual mínimo observado en el periodo alterado es mayor que la mediana de la respectiva serie en régimen natural. Por el contrario, la regulación prácticamente no modifica las características con mayor papel geomorfológico (magnitud, frecuencia y duración) del régimen de avenidas.

Por lo que respecta a la evolución geomorfológica del tramo, los parámetros analizados (Magdaleno et al., 2011; Magdaleno & Fernández, 2011b,c) muestran cambios sustanciales en su funcionamiento geomorfológico, a lo largo de las últimas ocho décadas. Los resultados obtenidos en el análisis espacial y temporal de sus parámetros e indicadores de forma muestran cuáles han sido los aspectos de mayor importancia en esta evolución.

La estabilización del cauce en la segunda mitad de siglo parece, a partir de los datos analizados, evidente. El río sufre en la práctica una profunda evolución y transformación en su funcionamiento hidrogeomorfológico. En las primeras décadas del siglo XX se evidencian signos de reducción progresiva de la actividad fluvial en determinadas zonas del cauce, pero esta actividad sigue siendo, por lo general, intensa y manifiesta. Sin embargo, en la segunda mitad del siglo, el cauce activo se estrecha, pierde movilidad lateral y estabiliza su patrón morfológico. Los parámetros de forma se mantienen, por su parte, casi constantes en el tiempo. Estos dos aspectos diferenciados, la pérdida manifiesta de dinámica fluvial, y el mantenimiento de las formas geométricas del río en el tiempo, identifican al sector central del río Ebro como un sistema fluvial que ha evolucionado desde una situación de equilibrio dinámico hasta un funcionamiento en equilibrio estático. Diversos trabajos han analizado los diferentes estados de equilibrio en que se puede encontrar un cauce (Richards, 1982; Knighton, 1984; Brierley & Fryirs, 2005), y su importancia sobre el funcionamiento global del sistema. Algunos de estos trabajos señalaban la diferencia entre un comportamiento de meandreo activo y de meandreo pasivo.

Los resultados obtenidos permiten profundizar en el análisis de estos comportamientos diferenciados, subrayando la diferencia en el comportamiento geomorfológico entre tramos en equilibrio dinámico y tramos en equilibrio estático. En el primer caso, los parámetros e indicadores de forma (planta – sección – perfil) cambiarían con el tiempo su posición relativa y estarían realizando un trabajo geomorfológico activo en su llanura de inundación (*floodplain reworking process*), si bien en el conjunto del tramo seguirían manteniendo sus valores medios. Por el contrario, un tramo en equilibrio estático mantendría los parámetros e indicadores de forma, pero sin cambios sensibles en la posición relativa de sus formas y con escasa actividad geomorfológica. Estas dos situaciones están bien representadas por el sector central del Ebro en la primera y segunda mitad del siglo. En las primeras décadas, el río mantiene sus indicadores de forma, pero muestra una fuerte y activa dinámica, que va perdiendo progresivamente hasta encontrarse a finales de siglo casi completamente estabilizado. El equilibrio en el valor de las formas del río no se encuentra ya asociado a un comportamiento activo, sino simplemente a que el río ya no tiene capacidad para moverse de su posición actual.



4. Conclusiones

Tras la caracterización de la evolución ecológica e hidrogeomorfológica del Ebro medio, y después del análisis de las implicaciones de estos cambios para su restauración, resulta posible establecer el siguiente conjunto de conclusiones y recomendaciones para su gestión y restauración:

i. Funcionamiento del Ebro medio

1. El régimen de caudales condiciona el funcionamiento ecológico e hidrogeomorfológico del sector central del río Ebro. El análisis de la evolución de las principales componentes del régimen hidrológica muestra que la progresiva regulación del Ebro medio a lo largo del siglo XX ha supuesto afecciones importantes sobre los caudales de estiaje. La magnitud de estos caudales se incrementó, de manera significativa, durante los meses de agosto y septiembre. En cuanto a los caudales de crecida, su magnitud y frecuencia decrecieron, pero de manera mucho más suave, generando una menor afección ambiental.
2. La alteración hidrológica sufrida por el sistema fluvial ha motivado el desarrollo de nuevos procesos ecológicos y geomorfológicos, diferentes de los dominantes en el río durante las primeras décadas del siglo pasado. La homogeneización del régimen de caudales ha acelerado la reducción de la variabilidad física y ambiental del tramo de estudio. Esto ha generado condiciones propicias para una creciente ocupación antrópica de las márgenes fluviales y para una generalizada modificación de los paisajes fluviales.
3. La actividad geomorfológica del cauce y de su llanura de inundación ha sufrido una completa transformación a lo largo del escenario temporal analizado (1927-2003). La sinuosidad del cauce se ha reducido drásticamente, y este decremento ha sido especialmente intenso en la longitud y complejidad física de las orillas. La pérdida de orillas ha producido un notable incremento de las presiones externas sobre los ecosistemas acuáticos. Determinados parámetros geomorfológicos, como por ejemplo la anchura de bankfull, la anchura de áreas riparias y la extensión del territorio fluvial se han reducido en más de un 50% en las ocho últimas décadas. El Ebro medio ha pasado a convertirse en un sistema dominado por su componente acuática, cuando hace algunas décadas, era su componente riparia la preponderante en el tramo.
4. La alteración de los parámetros geomorfológicos se manifiesta a lo largo de todo el tramo de estudio, pero se ha concentrado en la segunda mitad de siglo, y en aquellos subtramos que mostraban un mayor dinamismo a comienzos del siglo pasado. La ocupación histórica del río hizo que muchos segmentos del río contaran ya con un fuerte aprovechamiento agrícola en aquel tiempo, pero aún existían amplias áreas en las que la dinámica de los hábitats fluviales era rica y compleja. Estas zonas han sido progresivamente ocupadas en las últimas décadas, perdiéndose la mayor parte del territorio fluvial previamente activo.
5. La transformación geomorfológica del sistema contrasta con el mantenimiento de los parámetros de forma del río (longitud de onda, amplitud, radio de curvatura,...). Esta aparente incoherencia sugiere un cambio profundo en el funcionamiento del sistema, pasando de un estado de equilibrio dinámico a un estado de equilibrio estático. Por lo tanto, la falta de cambio de la geometría del río puede asociarse, actualmente, a una falta completa de actividad geomorfológica, que hace imposible la evolución de las formas fluviales y el desarrollo de nuevos ajustes geomorfológicos, capaces de conferir actividad geomorfológica al sistema.
6. La vegetación riparia ha reaccionado de manera intensa a la alteración hidrogeomorfológica del tramo de estudio: la estructura espacial, originalmente de tipo mosaico, se ha convertido, a comienzos del siglo XXI, en una estructura lineal y próxima al eje del río. La distribución espacial de la vegetación riparia muestra una notable fragmentación y un fuerte decremento de los hábitats asociados, incluyendo:
 - a. La reducción de la superficie ocupada por bosques riparios (-35%),
 - b. La reducción del tamaño medio de los fragmentos de vegetación riparia (-50%),
 - c. La pérdida de los fragmentos de bosque más valiosos ecológicamente,
 - d. La progresiva atomización y aislamiento de los fragmentos vegetales.



7. La alteración del corredor ripario ha sido progresivo, pero también acelerada en las últimas décadas. A partir de los años 60, la actividad biogeomorfológica del río ha retroalimentado la homogeneización ecológica del sistema fluvial, así como su tendencia hacia un equilibrio geomórfico estático. El funcionamiento actual del corredor ripario puede conducir, en próximas décadas, al desarrollo de una estructura dominada por especies no pioneras, dentro de una matriz caracterizada por cultivos agrícolas y forestales. Este proceso de empobrecimiento ecológico podría generar una drástica pérdida de biodiversidad, una reducción de la calidad de los hábitats fluviales, y la progresiva colonización de estos hábitats por especies alóctonas.

ii. Recomendaciones para la gestión y restauración del Ebro medio.

8. La mejora del funcionamiento del Ebro medio, con el objetivo de promover su restauración ecológica, exige la recuperación de algunos de sus procesos hidrogeomorfológicos básicos. En primer lugar, la mejora del régimen hidrológico del río es una meta fundamental de este cambio de paradigma en su gestión, evitando una mayor alteración de su régimen de crecidas, y favoreciendo la progresiva renaturalización de sus caudales de estiaje, con el fin de evitar el mantenimiento o el incremento de la homogeneización física y ambiental del tramo de estudio.
9. La rehabilitación de una parte del antiguo territorio fluvial supone también un aspecto básico para la consecución de una actividad geomorfológica mínima en el sistema fluvial. Esta actividad puede favorecer el dinamismo ecológico del sistema, y evitar, al tiempo, un incremento del riesgo de inundaciones en el Ebro medio. La actual ocupación humana hace imposible, a corto plazo, la recuperación de la mayor parte de los subtramos del Ebro medio. Sin embargo, las zonas aún activas deben ser protegidas a corto plazo, con el fin de evitar el colapso total del sistema. Adicionalmente, se debería plantear la recuperación progresiva de nuevos sub-tramos, en el ámbito de escenarios de gestión que permitan la utilización de la llanura aluvial por el ser humano, y el desarrollo de una parte de los procesos fluviales perdidos a lo largo del siglo XX.
10. La mejora de la estructura y composición de las zonas riparias debe ser otro objetivo básico de la gestión ecosistémica del Ebro medio. Estas actuaciones deberían limitar la continua tendencia a la fragmentación y a la pérdida de conectividad, observadas en el corredor ripario a lo largo de las últimas décadas. Existe, por ello, la necesidad de proteger activamente las últimas representaciones de los antiguos sotos riparios, y evitar así el desarrollo de actuaciones que acelere el decaimiento de la diversidad biológica y estructural del tramo de estudio.
11. Los nuevos requerimientos normativos y la mejora del conocimiento científico promueven un escenario de gestión basado en la restauración de la integridad ecológica del Ebro medio. La conservación y recuperación de los procesos fluviales no debiera ser considerado como una traba para el desarrollo de actividades humanas en las llanuras de inundación del río, dado que el buen estado del sistema fluvial supone una garantía para la continuidad futura de sus funciones y valores, y para la continuidad de los usos humanos asociados a él.

iii. Líneas preferentes de trabajo

12. La complejidad ecológica e hidrogeomorfológica del Ebro medio y de sus principales afluentes hace aconsejable el desarrollo de nuevos análisis de su funcionamiento y evolución global, bajo diferentes escenarios climáticos. Por ello, resulta esencial llevar a cabo estudios relacionados con el comportamiento hidrológico de la cuenca del Ebro, y con la distribución de sus principales regiones hidrológicas. El análisis de los balances hidrológicos debiera incorporar el régimen sedimentario, dado que éste es un componente no adecuadamente analizado en la cuenca del Ebro, a pesar de su importancia sobre el funcionamiento de la red de drenaje.
13. La mejora del conocimiento sobre los regímenes hidrológicos en la cuenca del Ebro debiera estar acompañado del desarrollo de nuevos análisis centrados en la influencia de los usos del suelo en el funcionamiento ecológico e hidrogeomorfológico del sistema fluvial. Por ello, resulta necesario estudiar cuáles son los procesos territoriales globales que dan lugar a afecciones ambientales en el estado del río, y cómo pueden ser gestionados, para minimizar estas presiones.



14. El análisis global de los procesos que regulan el funcionamiento de la cuenca del Ebro y del sistema fluvial en su conjunto resulta fundamental para la comprensión de su evolución pasada y futura. No obstante, resulta también necesario mejorar el conocimiento sobre el funcionamiento de los segmentos críticos del río, entendidos como aquellos que ejercen mayor control sobre su comportamiento hidrogeomorfológico, debido a su dinamismo físico o ambiental.
15. La complejidad funcional y estructural del Ebro medio dificulta el desarrollo de los análisis anteriormente mencionados, sin el soporte de nuevas técnicas y procedimientos de estudio. Entre otras cuestiones, resulta de elevado interés: (i) la aplicación de nuevas técnicas para la estimación de la alteración hidrológica de los regímenes fluviales, (ii) el desarrollo de una gestión ecohidrológica de la cuenca, (iii) el análisis de la estructura y distribución de los paisajes fluviales, y (iv) la mejora de las técnicas de captura remota de información, especialmente las relacionadas con la tecnología LiDAR, que ya ha mostrado su efectividad en la gestión territorial de la cuenca del Ebro.
16. Finalmente, es necesario subrayar que el cambio en la gestión del Ebro medio, dirigido a la consecución de una adecuada recuperación de su integridad ecológica e hidrogeomorfológica, requiere un escenario de gestión adaptativa y participativa, suficientemente flexible para (i) incorporar la mejora del conocimiento sobre el sistema fluvial, (ii) implementar los requerimientos legales de la legislación española y europea, (iii) permitir que todos los agentes sociales relacionados con su gestión sean conscientes de su singularidad, fragilidad e importancia. El buen estado futuro del Ebro medio significa bienestar y desarrollo para las poblaciones que más directamente dependen de sus funciones y valores, y ofrecerá, al conjunto de la sociedad, un amplio rango de valores culturales, ecológicos y recreativos, de primer nivel, en el ámbito mediterráneo.

Referencias

- Amoros, C. & Petts, G.E. (eds.). 1993. *Hydrosystemes Fluviaux*. Masson, Paris.
- Cabezas, A., Comín, F.A., Beguería, S., Trabucchi, M. 2009. Hydrologic and landscape changes in the Middle Ebro River (NE Spain): implications for restoration and management. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 13: 273–284.
- Brierley, G.J. & Fryirs, K.A. 2005. *Geomorphology and River Management. Applications of the River Styles Framework*. Blackwell Publishing. 398 p.
- Church, M. 1995. Geomorphic response to river flow regulation: case studies and time scales. *Regul. Rivers* 11: 3–22.
- Gilvear, D.J. & Winterbottom, S.J. 1992. Channel changes and flood events since 1783 on the regulated river Tay, Scotland: implications for flood hazard management. *Regul. Rivers* 7: 247–260.
- Johnson, W.C. 2000. Tree recruitment and survival in rivers: influence of hydrological processes. *Hydrol. Process.* 14: 3051–3074.
- Knighton, D. 1984. *Fluvial forms and processes*. Baltimore, Maryland. Edward Arnold; 218 p.
- Magdaleno, F. & Fernández-Yuste, J.A. 2011a. Hydromorphological alteration of a large Mediterranean river: relative role of high and low flows on the evolution of riparian forests and channel morphology. *River Research and Applications* 27(3): 374–387
- Magdaleno, F. & Fernández-Yuste, J.A. 2011b. Meander dynamics in a changing river corridor. *Geomorphology*. Doi: 10.1016/j.geomorph.2011.03.016.
- Magdaleno, F. & Fernández-Yuste, J.A. 2011c. Landscape dynamics of the riparian forest corridor in the Middle Ebro system. *Landscape Ecology*. Submitted
- Magdaleno, F., Fernández, J.A, Merino, S. 2011. Characterization of the geomorphological evolution of the Ebro River (NE Spain) in the 20th century and its ecological implications. *Earth Surface Processes and Landforms*. In press.
- Merritt, D.M. & Cooper, D.J. 2000. Riparian vegetation and channel change in response to river regulation: a comparative study of regulated and unregulated streams in the Green River Basin, USA. *Regul. Rivers* 16: 543–564.
- Ollero, A. 2007. Channel adjustments, floodplain changes and riparian ecosystems of the Middle Ebro River: Assessment and Management. *Water Resources Development* 23(1): 73–90.



- Ollero, A. 2010. Channel changes and floodplain management in the meandering middle Ebro River, Spain. *Geomorphology* 117: 247-260.
- Petts, G.E. 2000. A perspective on the abiotic processes sustaining the ecological integrity of running waters. *Hydrobiologia* 422/423, 15–27.
- Richards, K. 1982. *Rivers: Form and Process in Alluvial Channels*. Methuen, London.
- Sherrard, J.J. & Erskine, W.D. 1991. Complex response of a sand-bed stream to upstream impoundment. *Regul. Rivers* 6: 53–70.
- Stallins, J.A. 2006. Geomorphology and ecology: Unifying themes for complex systems in biogeomorphology. *Geomorphology* 77: 207-216.
- Tabacchi, E., Lambs, L., Guillo, H., Planty-Tabacchi, A.-M., Muller, E., Décamps, H. 2000. Impacts of riparian vegetation on hydrological processes. *Hydrological Processes* 14: 2959-2976.
- Whited, D., Stanford, J.A., Kimball, J.S. 2002. Application of airborne multispectral digital imagery to quantify riverine habitats at different base flows. *Regul. Rivers* 18: 583–594.
- Winterbottom, S.J. & Gilvear, D.J. 1997. Quantification of channel bed morphology in gravel-bed rivers using airborne multispectral imagery and aerial photography. *Regul. Rivers* 13: 489–500.
- Winterbottom, S.J. & Gilvear, D.J. 2000. A GIS-based approach to mapping probabilities of river bank erosion: regulated River Tummel, Scotland. *Regul. Rivers* 16: 127–140.