

D

O

S

S

I

E

R

>



# CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL RÍO MARTÍN Y SUS AFLUENTES

MIGUEL SÁNCHEZ FABRE Y ALFREDO OLLERO OJEDA  
DPTO. DE GEOGRAFÍA Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

## LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO MARTÍN Y RASGOS PRINCIPALES DE SU MEDIO FÍSICO

El río Martín es uno de los afluentes de la margen derecha del río Ebro cuya cabecera se establece en la Cordillera Ibérica. Sus tramos alto y medio surcan diferentes sierras de esta cordillera, en tanto que su curso bajo recorre la Depresión del Ebro. Esta trayectoria a través de una unidad montañosa y una gran depresión hace que el rango altitudinal apreciado en la cuenca del río Martín sea amplio, oscilando desde el entorno de los 1.500 m, que se alcanzan en sierras como San Just (1.548 m) o Sierra de la Costera (1.428 m), hasta los 143 m sobre el nivel del mar, a los que se encuentra su desembocadura en las proximidades de la población de Escatrón. Por su parte, en la Sierra de Arcos, última estribación de las serranías ibéricas turolenses, que

Figura 1. Esquema de localización de la cuenca del río Martín



marca el contacto con la Depresión del Ebro, se encuentran diferentes cotas próximas a los 900 m de altitud.

Las características del medio físico de la cuenca del Martín están muy marcadas por esa dualidad de su recorrido por el Sistema Ibérico y la Depresión del Ebro. Las formas de relieve del sector de la Cordillera Ibérica están muy determinadas por la litología carbonatada predominante en la zona y por la disposición estructural de los materiales. Las rocas depositadas durante la era secundaria, intensamente plegadas por la tectónica alpina, han sido arrasadas por una superficie de erosión en la que la intensidad de los procesos fluvio-kársticos queda reflejada en la presencia de poljes, dolinas, lapiares y, especialmente, gran cantidad de espectaculares cañones. En diversos sectores, la erosión llevada a cabo por los cursos fluviales, cortando perpendicularmente los estratos integrados en estructuras de plegamiento con dirección noroeste-sureste, pone en resalte relieves estructurales plegados.

El clima de este sector serrano de la cuenca se caracteriza por inviernos fríos y largos, veranos frescos y precipitaciones poco abundantes para una zona montañosa, ya que sólo puntualmente se superan los 500 mm de precipitación anual (Portalrubio: 588 mm, Vivel: 512 mm, Montalbán: 487 mm, Ariño: 411 mm, Cueva Foradada: 388 mm). Estas condiciones climáticas permitirían el desarrollo de una vegetación natural presidida por encinares y pinares, si bien la deforestación y la intensa actividad tanto pastoril como minera han producido una degradación de esa vegetación potencial, dominando actualmente en el paisaje vegetal las formaciones arbustivas de tipo garriga y las repoblaciones de pinos; eso sí, sobrevive algún encinar.

Cuando, en la zona de Albalate del Arzobispo, el río Martín deja atrás la Sierra de Arcos y se introduce en la Depresión del Ebro, el modelado del relieve experimenta una enorme transformación. El Martín y sus afluentes se encajan en plataformas estructurales, generalmente con escarpes de suaves perfiles, entre los que se localizan sistemas de glacis y terrazas asociados a la evolución de la red fluvial durante el Cuaternario.

El clima característico de la Depresión del Ebro y, por tanto, del tramo bajo de la cuenca del río Martín presenta veranos calurosos con fuerte evapotranspiración e incluso con un marcado déficit hídrico. Las precipitaciones son escasas, por debajo de los 400 mm, significando una aportación muy débil al caudal del tramo bajo del Martín. La precipitación media anual se cifra en 365 mm en Albalate del Arzobispo, en 363 mm en la Puebla de Híjar o en 351 mm en Híjar.

La vegetación tiene carácter estepario, con especies de escaso porte, como tamariz, sabina negra, ontina, albardín o esparto, aliaga, cardos, romero, tomillo, etc. En este sector de la cuenca del río Martín incluido en la depresión del Ebro, gran parte del suelo está ocupada por cultivos de secano, restringiéndose la presencia del regadío a las márgenes de los ríos.

La riqueza y espectacularidad natural de la cuenca del río Martín queda refrendada con la definición dentro de sus límites de los Lugares de Importancia Comunitaria (LIC) *Parque Cultural del río Martín*, entre Montalbán y Alcaine, y *Bajo Martín*, desde Jatiel a la desembocadura. También la Zona de Especial Protección para las Aves *Desfiladeros del río Martín*. Tampoco puede olvidarse la relevancia cultural de esta región, especialmente la que le confiere la presencia de destacados ejemplos de arte rupestre levantino.

## LA RED FLUVIAL Y SU COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO

### La red fluvial

El río Martín, que como curso principal de su red de drenaje da nombre a la cuenca, nace en la Sierra de Cucalón, donde varios arroyos, entre los que destacan el río Segura y el Fuenferrada, recogen agua para terminar confluyendo cerca de Vivel del Río. A partir de esta localidad el río adopta su denominación, prolongando hasta Martín del Río la dirección de drenaje noroeste-sureste que sigue alguno de esos arroyos mencionados. Desde allí hasta Montalbán el cauce se orienta de oeste a este, pero pasada esta población el Martín fluye en sentido suroeste-noreste, coincidente con la orientación de la cuenca fluvial (Figura 1).

Según el punto a partir del cual consideremos el arranque del río Martín su longitud varía entre los 97 km (Confederación

Hidrográfica del Ebro) o los 116 km, si remontamos su arranque hasta la cabecera de alguno de los arroyos, por ejemplo el Río Segura.

Tanto el río Segura, como los restantes cursos que integran la cabecera del río Martín poseen cauces de pequeñas proporciones, con pendientes no muy elevadas (1,6%), que ocasionalmente presentan ensanchamientos y barras. Su trazado dibuja esporádicas sinuosidades. Entre Vivel del Río y Martín del Río, el cauce del Martín aumenta sus proporciones e incrementa su sinuosidad, dibujando algún meandro e incluso modelando algún tramo trezado; al mismo tiempo, disminuye su pendiente. La mayor parte del recorrido entre Montalbán y Alcaine lo realiza el Martín profundamente encajado en espectaculares cañones entre los que merecen destacarse el de Peñarroyas (Foto 1), esculpido en las areniscas del Bunt, y los de Obón y Alcaine, tallados en las series carbonatadas mesozoicas.

Figura 2. Red fluvial de la cuenca del río Martín



Foto 1. Cañón de Peñarroyas



Aguas abajo de Alcaine el cauce del río Martín está ocupado por el embalse de Cueva Foradada, acabado de construir en 1926. Inunda una superficie de 229 ha y posee una capacidad útil de 22,1 hm<sup>3</sup>. Las aguas retenidas en él se utilizan para riegos y abastecimiento de poblaciones, así como el embalse también tiene usos lúdicos para baño y navegación (vela y remo).

En el sector de Oliete el valle del Martín se amplía, acentuándose el radio de curvatura de las sinuosidades del cauce y ampliándose la presencia de barras de grava así como de vegetación de ribera. Entre Ariño y Albalate del Arzobispo el río nuevamente discurre preferentemente encajado, resultando su cauce estrecho y sinuoso; resalta la espectacularidad de Los Estrechos de Albalate (Foto 2).

Una vez instalado en la Depresión del Ebro el cauce del Martín se muestra muy sinuoso y con pendiente muy suave

(0,6%). Su ribera se cubre de cultivos, en tanto que en sus márgenes se construyen diversas defensas que constriñen el cauce. En este tramo bajo, donde se incrementan los vertidos, se constata una sorprendente disminución del caudal.

Foto 2. Los Estrechos de Albalate del Arzobispo

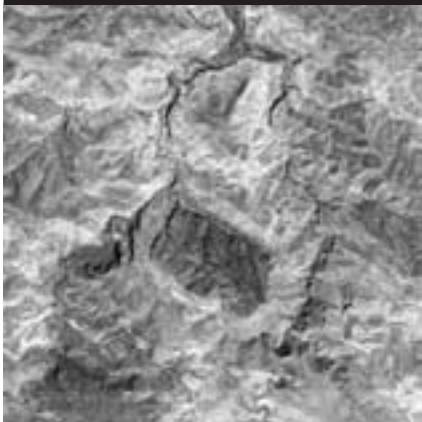


Entre los afluentes del río Martín destacan por su margen derecha el río de la Rambla, el río de Cabra y el río Escuriza, en tanto que por su margen izquierda sobresalen el río Segura, el río Radón, el río Seco y el barranco del Mortero (Figura 2).

El **río de la Rambla** desemboca en el Martín en Martín del Río, contribuyendo al aporte de caudal realizado por el conjunto de cursos fluviales de cabecera. Sigue un trazado ameandrado, con presencia de numerosas pozas en el interior de su cauce. Posee parajes de gran belleza como el salto de su nacimiento o el Hocino de la Rambla, hoz corta y estrecha donde se mezclan la vegetación arbustiva (carrasca, coscoja, enebro, aliaga, etc.) con la de ribera.

El **río de Cabra** vierte sus aguas al Martín cerca de Obón, siendo su rasgo más sobresaliente sus espectaculares cañones (Foto 3).

Foto 3. Ortofoto de la confluencia del río Cabra en el río Martín. SITAR



El **río Escuriza** alcanza el cauce del Martín cerca de Ariño tras 35 km de recorrido. Su aportación media anual al caudal del río Martín se evalúa en 20 hm<sup>3</sup>. A finales del siglo XIX se construyó en su cauce el embalse de Escuriza, que hoy práctica-

mente no tiene ninguna utilidad. Este tributario del río Martín tiene, a su vez, como afluente al río Estercuel. En los Baños de Ariño llega hasta el Martín una importante aportación de aguas subterráneas, que manan a 22 °C.

El **río Radón** nace en el anticlinal de Montalbán y corta las mismas estructuras geológicas que el Martín, ya que discurren paralelos. Tiene un corto recorrido, durante el que alternan tramos de cauce amplio (El Regatón) con otros de cauce encajado con pendiente acusada (Benicosal-Valmayor). No dispone de caudal durante la mayor parte del año. Cuando sí existe un caudal abundante, resulta de gran espectacularidad el Salto de El Cubo.

Cerca de Oliete y aguas abajo de la presa del Embalse de Cueva Foradada, el Martín recibe al **río Seco** o **Sus**. Su cabecera también se sitúa en el anticlinal de Montalbán, por lo que buena parte de su recorrido tiene sentido paralelo al del río Radón. En su modelado destacan diversos tramos encajados, así como un sector final muy angosto con presencia de hocinos, pozas y pequeños saltos de agua.

Aunque sólo dispone de caudal de forma esporádica, el barranco del Mortero tiene un elevado interés tanto geomorfológico como cultural, este último por la presencia de manifestaciones del arte rupestre levantino. En su cabecera presenta un valle de fondo plano modelado en los depósitos terciarios y cuaternarios de la depresión de Muniesa; sin embargo, aguas abajo el valle se encaja en las calizas del Jurásico Superior. El umbral entre ambos tipos de valle coincide con un salto de 20 m, que evidencia la enorme capacidad de erosión remontante que posee este curso fluvial. El encajamiento del valle origina un profundo cañón fluvio-kárstico (Foto 4), cuyas paredes están salpicadas de abrigos, cavidades y conductos expresivos de la intensa acción kárstica.

Foto 4. Cañón del barranco del Mortero



### Comportamiento hidrológico

En la cuenca del río Martín, cuya superficie es de 2.111 km<sup>2</sup>, hay instaladas tres estaciones de aforo, pertenecientes a la Confederación Hidrográfica del Ebro, que permiten conocer las pautas del comportamiento hidrológico de este curso fluvial (Figura 3). Los principales

rasgos de ese proceder hídrico han sido definidos por Lozano et al. (2004) y fueron estudiados con detalle por Guillén (2001). Siguiendo la dirección de fluencia del río el primer aforo es el de Alcaine, cuyos registros se iniciaron durante el año hidrológico 1962/63; a continuación el de Oliete, que posee información desde el año 1946/47 y; ya en el tramo bajo, el de Híjar, cuya serie se inicia en 1912-1913 pero queda interrumpida durante la mayor parte de los años de las décadas de los 30 y los 40, adquiriendo a partir de entonces continuidad en su funcionamiento. Entre los aforos de Alcaine y Oliete se ubica el ya comentado embalse de Cueva Foradada. Este embalse tiene una gran importancia tanto en el aprovechamiento del agua y los usos del suelo de la zona, como en el funcionamiento del río Martín.

Figura 3. Estaciones de aforo de la CHE en la cuenca del río Martín





El río Martín dispone de un **caudal** escaso, aunque supera el de los ríos ibéricos menos caudalosos, como su vecino el Aguasvivas. Su caudal medio anual ronda  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  en las tres estaciones de aforo (Alcaine:  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ , Oliete:  $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ , Híjar:  $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ), en tanto que los valores de caudal específico ofrecen mayor variación (Alcaine:  $1,63 \text{ l}/\text{km}^2/\text{s}$ , Oliete:  $1,95 \text{ l}/\text{km}^2/\text{s}$ , Híjar:  $0,83 \text{ l}/\text{km}^2/\text{s}$ ), siempre dentro de la comentada escasez de caudal. La aporta-

cativos son el elevado número de ocasiones en que se supera el módulo anual entre los años 50 y finales de los 70, así como la casi total inexistencia de años que remontan ese valor medio en los 80 y 90 (Figura 4). En Híjar, si exceptuamos el dato del año 1959/60, el resto se aleja relativamente poco de la media, siendo también bajo el número de veces en que ésta se supera en las dos últimas décadas del siglo XX. Sin duda, la mitigación de la **irregulari-**

	<b>Alcaine</b>	<b>Oliete</b>	<b>Híjar</b>
Módulo $\text{m}^3/\text{s}$	1	1,3	1,1
Módulo $\text{l}/\text{km}^2/\text{s}$	1,63	1,95	0,83
Aportación $\text{hm}^3$	30,19	41,45	35,29

Tabla 1. Caudalosisidad del río Martín. Fuente: CHE. Elaboración propia

ción anual media de agua que discurre por el Martín se cifra en  $30,19 \text{ hm}^3$  en Alcaine,  $41,45 \text{ hm}^3$  en Oliete y  $35,29 \text{ hm}^3$  en Híjar (Tabla 1). Llama la atención la disminución de caudal y de aportación del río entre Oliete e Híjar, cifrada en algo más de  $6 \text{ hm}^3$  anuales, que guarda relación con la utilización de este recurso hídrico para el riego, esencialmente en el tramo que surca la depresión del Ebro.

Los caudales y aportaciones anuales ofrecen variaciones con una sucesión muy similar en Alcaine y Oliete, pero particular en Híjar. En las dos primeras, los datos más signifi-

**dad interanual** en Híjar tiene que ver con la gestión del embalse de Cueva Foradada y el empleo de agua para el riego (Figura 5). Si se calcula el coeficiente de irregularidad interanual del río Martín en Alcaine, aforo que manifiesta un comportamiento natural, obtenemos un valor de 12; este dato duplica el del río Ebro y expresa la influencia mediterránea, que se acentúa hacia los ríos ibéricos más orientales (Guadalupe y Matarraña). En Oliete, considerando el mismo periodo de observación que el disponible en Alcaine (desde 1962/1963 a 1999/2000), el coeficiente de irregularidad interanual se cifra en 14 (Tabla 2).

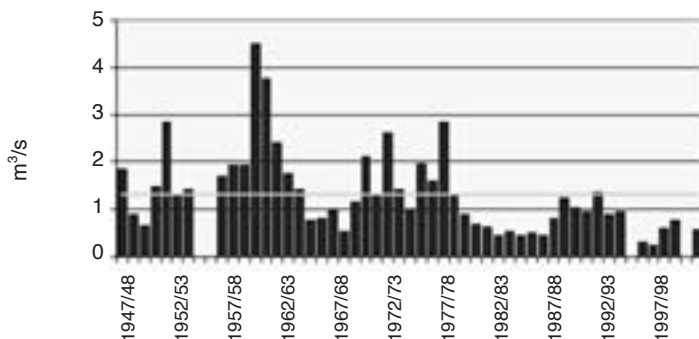


Figura 4. Variación de los caudales medios anuales del río Martín en Oliete. Fuente: CHE. Elaboración propia

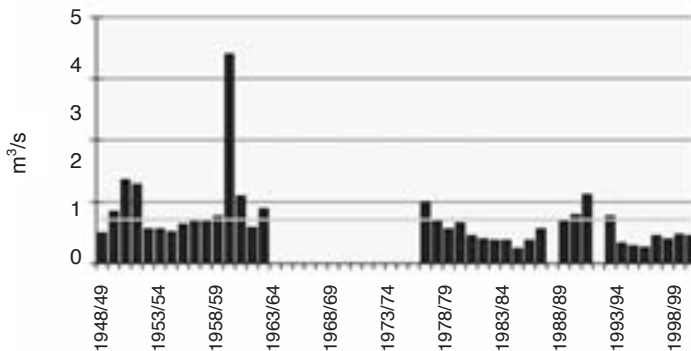


Figura 5. Variación de los caudales medios anuales del río Martín en Híjar. Fuente: CHE. Elaboración propia

	Coefficiente Irregularidad	Valor máximo máximo m³/s	Año valor máximo	Valor mínimo m³/s	Año valor mínimo
ALCAINE	12	2,4	1976/77	0,2	1995/96
OLIETE	14	2,8	1976/77	0,2	1995/96

Tabla 2. Coeficiente de irregularidad del río Martín en Alcaine y Oliete

La figura 6 representa las curvas de **variación estacional de caudal** correspondientes a las mediciones efectuadas en los tres aforos existentes y, además, la curva

correspondiente al caudal naturalizado estimado por la CHE para el Martín en Híjar (Híjar nat.), aplicando el modelo Sacramento.

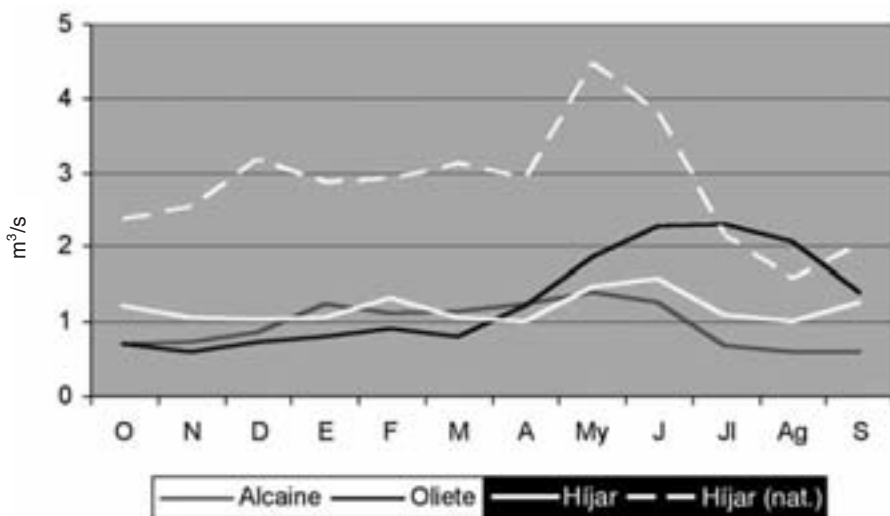


Figura 6. Curvas de variación estacional de caudal del río Martín. Fuente: CHE. (Lozano et al. 2004)

En Alcaine, hasta donde el río fluye de forma natural sin que medie intervención humana, se evidencia un periodo de aguas altas en invierno y primavera, con máximo en mayo, y un periodo de aguas bajas en torno al verano. En el aforo de Oliete, aguas abajo de la presa del embalse de Cueva Foradada, el ritmo se invierte, apareciendo las aguas bajas en invierno y comienzos de primavera e iniciándose posteriormente un ascenso del caudal, motivado por la liberación del agua hasta entonces retenida en el embalse, que conduce a un máximo en junio-julio.

La cantidad de agua que circula por el aforo de Híjar sufre numerosas oscilaciones pero de escaso rango, de manera que en febrero, finales de primavera, y comienzos de otoño se mide mayor cantidad de agua y en marzo-abril, verano e invierno los valores registrados son inferiores. Ahora bien, más interés que el trazado de esa curva, dirigido por las necesidades de

agua para el riego en cada momento, tiene su comparación con la dibujada por los datos correspondientes al caudal naturalizado. De ella se desprenden varias consecuencias:

- El caudal que circula por el cauce del Martín en Híjar, aunque no tomemos los valores absolutos del modelo Sacramento sino como estimaciones, es sensiblemente inferior al que fluiría en régimen natural.
- El periodo de aguas más altas en ambas curvas se registra en mayo-junio, si bien estaría mucho más acentuado en un régimen natural.
- El descenso de caudal de verano sería también mucho más profundo si el comportamiento del río no estuviera tan alterado por la regulación del embalse de Cueva Foradada y la gestión del agua utilizada para regar los cultivos de la llanura de inundación del tramo bajo del Martín.

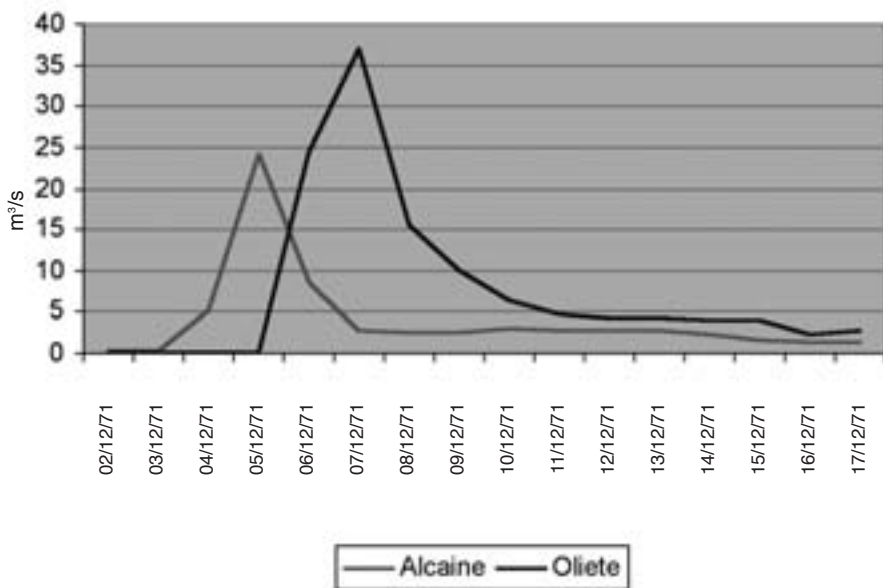


Figura 7. Hidrograma de la crecida de diciembre de 1971 del río Martín. Fuente: CHE. Elaboración propia.

En conclusión, el régimen del Martín tiene un comportamiento natural desde su cabecera hasta el embalse de Cueva Foradada, y desde allí se muestra totalmente alterado por la intervención del hombre.

Sólo los episodios de precipitaciones de fuerte intensidad registrados esporádicamente sobre la cuenca del Martín, mayoritariamente relacionadas con tormentas de verano o con la influencia de frentes mediterráneos asociados a gotas frías, provocan un brusco incremento del caudal circulante por el río. En esas ocasiones se generan crecidas, cuya frecuencia e intensidad es menor que en cuencas próximas. Suelen producirse en primavera, comienzos del verano o invierno (Guillén, 2001). Los máximos registros de caudal medio diario son: 23,92 m<sup>3</sup>/s en Alcaine (5/12/1971), 36,8 m<sup>3</sup>/s (7/12/1971) y 36,2 m<sup>3</sup>/s (11/6/1975) en Oliete y 32,95 m<sup>3</sup>/s en Híjar (2/6/1977).

Por contraposición, en los datos diarios del río Martín se aprecian bastantes fases en que los registros no superan los 0,3 m<sup>3</sup>/s, e incluso en Híjar el río llegó a estar varios días prácticamente seco durante los años 1984, 1994 ó 1995.

Una de las principales crecidas del río Martín es la acaecida en diciembre de 1971, cuya evolución está recogida en el hidrograma de la figura 7. Tanto en Alcaine como en Oliete el incremento y la disminución de caudal se produjeron con gran rapidez, apreciándose bien diferenciadas, en esa disminución, la curva de descenso, desarrollada en las 24 horas siguientes al pico de crecida, y la curva de agotamiento, que se dibuja en los días posteriores. En Oliete, la crecida se inició y alcanzó su pico con dos días de retraso respecto a Alcaine; ello se debe a que inicialmente se retuvo la aportación de la crecida en el embalse de Cueva Foradada, retrasando su paso por el aforo.

## EVALUACIÓN AMBIENTAL DESDE UNA PERSPECTIVA HIDROGEOMORFOLÓGICA

### Justificación

La Directiva Marco Europea del Agua (2000/60/CE) fija como una de las claves para determinar el estado ecológico de los cursos fluviales la valoración de su calidad hidromorfológica. Este apartado trata de esa evaluación ambiental desde la perspectiva hidromorfológica.

La valoración de la calidad hidromorfológica de un curso fluvial se fundamenta en la consideración de los ríos como sistemas naturales de gran complejidad y dinamismo. Ese dinamismo se debe a los continuos reajustes que el curso fluvial debe realizar en el tiempo y en el espacio, ante las variaciones del caudal líquido y sólido que transporta, para mantener su equilibrio dinámico. Estos reajustes se traducen en movilidad lateral y vertical, movilidad que favorece una intensa dinámica ecológica y que garantiza tanto la riqueza como la diversidad de los cauces y riberas que integran los sistemas fluviales.

La complejidad de los sistemas fluviales, ligada a la enorme variedad de elementos que intervienen en ellos, así como su mencionado dinamismo los convierte en espacios lineales, corredores, de un gran valor ecológico, paisajístico y territorial. Actualmente, los cursos fluviales constituyen un elemento clave en la dinámica ambiental y en la planificación territorial. Si se desea que un curso fluvial conserve su valor como ecosistema y continúe ejerciendo en el futuro su papel como corredor ambiental, resulta absolutamente imprescindible que mantenga su dinámica hidrogeomorfológica, ya que ella es la que garantiza la protección de todos los elementos del sistema fluvial así como de sus relaciones.

## Metodología para la evaluación del estado hidromorfológico

Como ya se ha apuntado, la Directiva Marco Europea del Agua reconoce el trascendental papel que la conservación de una buena dinámica hidromorfológica juega en el buen estado ecológico de los sistemas fluviales. Esto alimentó la necesidad de desarrollar una metodología que permita evaluar la calidad hidromorfológica de los cursos fluviales, constatando su idoneidad al aplicarla en la red fluvial aragonesa.

La clave de esta metodología es determinar una serie de indicadores o parámetros que permitan valorar el estado hidromorfológico de diferentes sectores funcionales de los cursos fluviales.

Para definir estos indicadores se recurrió no sólo a la experiencia que los diferentes investigadores integrantes del grupo de trabajo poseían en el análisis de sistemas fluviales, sino a aquellas experiencias internacionales donde se había efectuado una valoración hidromorfológica o, más habitualmente, una valoración ecológica que contemplaba algunos parámetros hidromorfológicos. Entre ellas puede destacarse: PFC (*Proper functioning condition*) del Bureau of Land Management de Estados Unidos (Prichard et al., 1993), RHS (*River Habitat Survey*) desarrollado en el Reino Unido (Raven et al., 1998), LAWA (2000) planteado en Alemania y mejorado años después por Fleischhacker y Kern (2002), SEQ-Physique francés, ISC (*Index of Stream Condition*) (Ladson et al., 1996) y *River Styles Framework* (Brierley y Fryirs, 2005) en Australia; hay otras propuestas en Austria (Muhar et al., 2004), Eslovenia (Bizjak y Mikos, 2004), Italia (Siligardi, 2003), etc. En España sobresalen el QBR (*Qualitat del Bosc de Ribera*) (Munné et al., 1998), IHF-GUADALMED

(Bonada et al., 2002); otros, RQI (González del Tánago, 2006) e HIDRI (Munné et al., dirs., 2006) se han formulado simultáneamente o con posterioridad a la metodología propuesta por nosotros (Ollero et al., 2004; Ballarín, et al., 2006).

Paralelamente, se realizó una detallada caracterización de los ríos de Aragón, haciendo un profundo seguimiento a partir de cartografía, fotografías aéreas y un ingente trabajo de campo, que condujo a la tramificación y tipificación de la red fluvial aragonesa en sectores funcionales, siempre según criterios hidromorfológicos. Esta tipificación de los sistemas fluviales de un territorio es un paso previo imprescindible para la posterior determinación de su estado ecológico.

No existían antecedentes en los que el equipo de trabajo se pudiera apoyar, por lo que fue necesario diseñar una metodología de trabajo basada en los requisitos de la Directiva 2000/60/CE, en bibliografía científica especializada y en la propia experiencia de los miembros del equipo en el estudio de sistemas fluviales. Igualmente, se atendió a las recomendaciones emanadas del documento *Guidance standard* CEN TC 230/WG 2/TG 5: N32.

Se consideró la red fluvial propuesta por el Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón, que se dividió en sectores funcionales internamente homogéneos y claramente diferenciados entre sí (Amoros et Petts, 1993), resultando un total de 723. La longitud total de la red analizada es de 6.525 km, por lo que la longitud media de los sectores funcionales es de 9,02 km. Los 723 tramos han sido la base para establecer puntos de muestreo y para las clasificaciones, análisis y valoraciones a lo largo del trabajo de análisis de la calidad hidromorfológica de los cursos fluviales de Aragón.

La tipificación puso de manifiesto, ante todo, la enorme diversidad de los sistemas fluviales aragoneses, diversidad tanto ecológica (ecodiversidad) como paisajística, así como más estrictamente biótica (biodiversidad) y geomorfológica. Se catalogaron 17 tipos de cursos fluviales, dentro de los cuales se incluían hasta 81 subtipos, combinando criterios geomorfológicos e hidrológicos. En el río Martín y sus afluentes están representados 6 de esos tipos de cursos fluviales: de alta montaña ibérica con ribera, de montaña media ibérica encajados, de montaña media ibérica con ribera, medios y bajos ibéricos encajados, medios y bajos ibéricos con ribera y, finalmente, ramblas (Tabla 3).

Con la información recopilada en el proceso de caracterización, tramificación

y tipificación, especialmente con la recogida en las fichas elaboradas en el campo en cada uno de los sectores funcionales visitados, se emprendió la elección definitiva de los indicadores que iban a servir para evaluar el estado hidromorfológico de cada uno de los sectores funcionales de los cursos fluviales aragoneses.

Estos indicadores aparecen recogidos en la *ficha de valoración inicial del estado ecológico del sector funcional a partir de indicadores hidromorfológicos* (Figura 8). Aunque en ella se agrupan atendiendo al elemento del sistema fluvial al que hacen referencia (cuenca, caudal, cauce o corredor ribereño), también podemos agruparlos en tres conjuntos: indicadores de naturalidad, indicadores de continuidad e indicadores de complejidad.

Tipo de curso fluvial	modelo de referencia
de alta montaña pirenaica encajados	Estarrún 1, Aúm, Osía 1 y Bellós (100 puntos)
de alta montaña pirenaica en valles en artesa	Ara 2, Subordán 2, Ésera 2, Ésera 3 Subordán 4 (100 puntos)
de alta montaña ibérica encajados	Cabriel 2 (94 p.)
de alta montaña ibérica con ribera	-
de montaña media pirenaica encajados	Bellós 3, Yaga 2 (100 p.)
de montaña media pirenaica con ribera	Estarrún 2 (95 p.)
de montaña media pirenaica con corredor ribera extenso	Ara 6 (86 p.)
de montaña media ibérica encajados	Aguas Vivas 3, (92 p.)
de montaña media ibérica con ribera	Pitarque 5 (89 p.)
medios y bajos pirenaicos encajados	Mascún 2 (100 p.)
medios y bajos pirenaicos con ribera	Yaga 4 (94 p.)
medios y bajos pirenaicos con corredor ribera extenso	-
medios y bajos ibéricos encajados	Isuela 3 (92 p.)
medios y bajos ibéricos con ribera	Deza 1 (86 p.)
medios y bajos ibéricos con corredor ribera extenso	-
ramblas	Ribota 3 (85 p.)
embalses	-

Tabla 3. Tipología de cursos fluviales en la red hidrográfica aragonesa. Aparecen marcados con fondo sombreado los representados en la cuenca del río Martín.

Indicadores de naturalidad son: naturalidad de la cuenca, naturalidad del volumen de caudal hídrico, naturalidad del volumen de caudal sólido, naturalidad del régimen hidrológico, naturalidad longitudinal del cauce, naturalidad de la sección transversal del cauce, naturalidad de la componente vertical del sistema y de la conexión con el freático, naturalidad de la conexión del cauce con las vertientes, anchura o desarrollo transversal del corredor ribereño, naturalidad de especies de ribera, naturalidad de la conexión del corredor ribereño con las vertientes.

Como indicadores de continuidad se recogen: continuidad longitudinal del cauce y continuidad longitudinal del corredor ribereño. A su vez, son los indicadores de complejidad: diversidad de ambientes, estructura de las riberas.

Cada uno de los indicadores puede sumar diferentes puntos de valoración según el grado de alteración o corrección que presente. Además esa puntuación es objeto de ponderaciones, según el grado de influencia que se considera que tiene en el estado de calidad hidromorfológica. La puntuación máxima posible en un curso

con ribera es de 100 y en un curso sin ribera de 68, enmarcándose los sectores funcionales, según su puntuación, en cinco grupos :

- muy buen estado hidromorfológico: más del 85% del total
- buen estado hidromorfológico: entre el 70% y el 85%
- estado hidromorfológico aceptable: entre el 55% y el 70%
- estado hidromorfológico no aceptable: entre el 40% y el 55%
- estado hidromorfológico muy modificado: menos del 40%

El total de puntos obtenido en cada sector funcional también se puede comparar con el correspondiente al tramo de referencia que la Directiva Marco Europea del Agua señala que hay que definir para cada tipo de curso fluvial, eligiendo aquél que está en un perfecto estado hidromorfológico, o muy cerca del mismo (Fotos 5 y 6). El porcentaje de puntos obtenido con respecto al tramo de referencia nos indicará, igualmente, el nivel de calidad hidromorfológica de cada sector funcional.



Fotos 5 y 6. Tramo alto del río Pitarque, que sirve de referencia al tipo de los ríos de montaña media ibérica con ribera.

## FICHA DE VALORACIÓN INICIAL DEL ESTADO ECOLÓGICO DEL SECTOR FUNCIONAL A PARTIR DE INDICADORES HIDROMORFOLÓGICOS

sistema fluvial		sector func.	tipo	subtipo		
código	región ecológica		fecha valoración			
caracteres indicadores y sistema de valoración			ponde- ración	valor en el sector	% resp. stramo ref.	causas de alteración
<b>naturalidad de la cuenca</b> [ ] muy alta [ ] alta [ ] media [ ] baja			x 1			
<b>CAUDAL</b>	<b>naturalidad del volumen de caudal hídrico</b> [ ] caudal natural [ ] derivaciones inferiores al 10% del caudal natural [ ] derivaciones entre el 10 y el 20% [ ] derivaciones entre el 20 y el 50% [ ] derivaciones superiores al 50%		x 2			embalses, derivaciones hidroeléctricas, derivaciones para riego, derivaciones para consumo humano, etc.
	<b>naturalidad del volumen de caudal sólido</b> [ ] caudal natural [ ] con menos del 20% de la cuenca retenida por presas [ ] del 20 al 30% de la cuenca retenida por presas [ ] del 30 al 50% de la cuenca retenida por presas [ ] más del 50% de la cuenca retenida por presas		x 2			retención de sedimentos en embalses
	<b>naturalidad del régimen hidrológico</b> [ ] régimen natural [ ] régimen algo modificado [ ] régimen regulado o modificado		x 2			embalses
<b>CAUCE</b>	<b>continuidad longitudinal</b> [ ] sin infraestructuras/barreras [ ] < 0,25 infraestructuras/km [ ] de 0,25 a 0,5 infraestructuras/km [ ] de 0,5 a 0,75 infraestructuras/km [ ] de 0,75 a 1 infraestructuras/km [ ] > 1 infraestructuras/km [ ] al menos una presa de más de 7 m de altura		x 2			presas, azudos, otras obras de obra transversales
	<b>naturalidad longitudinal</b> [ ] natural [ ] mínimamente alterado [ ] algo alterado [ ] bastante alterado [ ] muy alterado		x 2			rupturas de pendiente de origen antropico, dragados, canalizaciones, modificaciones del curso
	<b>naturalidad de la sección transversal</b> [ ] natural [ ] mínimamente alterado [ ] algo alterado [ ] bastante alterado [ ] muy alterado		x 2			defensas, dragados, extracciones de áridos, etc.
	<b>naturalidad de la componente vertical del sistema y de la conexión con el freático</b> [ ] natural [ ] mínimamente alterado [ ] algo alterado [ ] bastante alterado [ ] muy alterado		x 1			embalses, presas, dragados, defensas, acciones de drenaje, etc.
	<b>naturalidad de la conexión con las vertientes</b> [ ] natural [ ] mínimamente alterado [ ] algo alterado [ ] bastante alterado [ ] muy alterado		x 1			defensas, vías de comunicación
<b>CORREDOR RIBEREÑO</b>	<b>continuidad longitudinal</b> [ ] alta [ ] media [ ] baja [ ] nula		x 2			trazados, puentes en calzadas, talas, urbanización, defensas...
	<b>anchura o desarrollo transversal</b> [ ] natural [ ] mínimamente reducida [ ] algo reducida [ ] bastante reducida [ ] muy reducida		x 1			trazados, puentes en calzadas, talas, urbanización, defensas...
	<b>diversidad de ambientes</b> [ ] natural [ ] mínimamente reducida [ ] algo reducida [ ] bastante reducida [ ] muy reducida		x 1			defensas, dragados, relleno de cauces secundarios o abandonados...
	<b>interconectividad de ambientes</b> [ ] buena en la dos orillas [ ] buena en una orilla y deficiente en la otra [ ] deficiente en las dos orillas		x 1			defensas, cerrados, vías de comunicación...
	<b>estructura de ambientes</b> [ ] natural [ ] mínimamente alterado [ ] algo alterado [ ] bastante alterado [ ] muy alterado		x 1			puentes, talas...
	<b>naturalidad y diversidad de especies de ribera</b> [ ] alta [ ] media [ ] baja [ ] muy baja		x 1			talas, extracciones, introducción de especies exóticas, repoblaciones...
	<b>naturalidad de la conexión con las vertientes</b> [ ] natural [ ] algo alterado [ ] bastante alterado [ ] muy alterado		x 1			vías de comunicación
<b>VALORACIÓN FINAL</b>						



### Resultados de la valoración inicial del estado hidromorfológico de la red fluvial aragonesa

Una vez analizados los 723 sectores funcionales que integran la red fluvial aragonesa, el resultado se puede sintetizar apuntando que el 17,7% de la longitud de esta red de drenaje (1.156,34 km) se encuentra en muy buen estado hidromorfológico, el 26% posee un buen estado (1.697,92 km), el 23,1% está en el intervalo correspondiente a un estado aceptable (1.510,12 km), el 18,7% presenta un estado hidromorfológico no aceptable (1.221,14 km) y el 14,4% muestra su estado hidromorfológico muy modificado

hacen algunas cortas ramblas sin núcleos de población en sus orillas.

Por el contrario, el peor estado hidromorfológico corresponde a los tramos fluviales embalsados y aquellos ubicados al pie de presas, junto a los cursos bajos con cauces canalizados o muy constreñidos y con riberas eliminadas. Los embalses son la primera causa del deterioro de la calidad hidromorfológica de los ríos de Aragón, ya que producen múltiples modificaciones tanto en el comportamiento hidrológico como en los rasgos y la dinámica geomorfológica en todos los sectores funcionales ubicados aguas abajo. El segundo lugar corresponde a

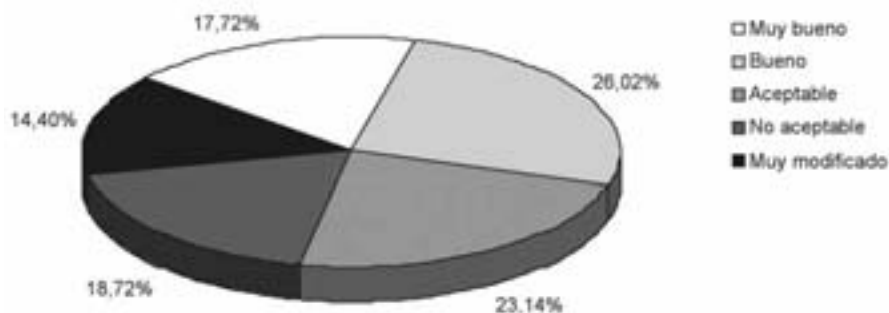


Figura 9. Calidad hidromorfológica en los ríos de Aragón: porcentajes por longitud de red fluvial

por la acción humana (939,27 km) (Figura 9).





A los ríos Ara, Isábena, afluentes del Aragón por su margen derecha (Estarrún, Subordán y Veral), Guarga y algunos pequeños afluentes de los altos Ara, Cinca, Noguera Ribagorzana o Alcanadre corresponde el honor de alcanzar las mayores cotas de calidad. Estos altos niveles de calidad hidromorfológica sólo son alcanzados entre los ríos ibéricos por algunos de sus tramos de cabecera, en tanto que en la depresión del Ebro exclusivamente lo

determinadas infraestructuras como canalizaciones, defensas, dragados, extracciones de áridos, urbanización del territorio fluvial, etc.

Globalmente, desde esta perspectiva hidromorfológica, la red fluvial aragonesa tiene actualmente una calidad aceptable. Ahora bien, esto no debe conducir al conformismo, ya que hay un número muy elevado de kilómetros de la red fluvial que necesita mejorar su estado y requiere intensas labores de restauración.

Tramo fluvial	Tipología	Puntuación Valoración	% tramo referencia tipo
Martín 2		78	87,64
Martín 3		76	93,83
Martín 4		82	93,18
Martín 6		69	82,14
Martín 7		67,65	76,67
Martín 11		44	52,38
Escuriza 3		76	83,36
Escuriza 5		57,35	61,91
Escuriza 8		60	69,77
Estercuel 2		80	89,88
Estercuel 3		73	86,9
Cabra 1		88,24	95,23
Sus 2		70	78,65
Sus 3		62	72,09

Tabla 4.

	Cursos de montaña media ibérica encajados
	Cursos de montaña media ibérica con ribera
	Cursos medios y bajos ibéricos encajados
	Cursos medios y bajos ibéricos con ribera

En el caso concreto del río Martín se han valorado una serie de sectores funcionales con el resultado que aparece recogido en la tabla 4. Se aprecia con claridad lo que ya se ha comentado para los ríos ibéricos en general. Es decir, tanto el río Martín como sus afluentes evaluados evidencian un mejor estado hidromorfológico en sus tramos altos y un mayor deterioro en sus tramos bajos.

### El índice hidrogeomorfológico (IHG)

Tanto la importancia que la Directiva Marco Europea del Agua otorga a la dinámica hidromorfológica en la definición del estado ecológico de los ríos, como la experiencia del trabajo realizado para la valoración inicial del estado hidrogeomorfológico de la red fluvial aragonesa convencieron al equipo de trabajo que lo había desarrollado de la necesidad de definir un índice hidrogeomorfológico,

con el que poder llevar a cabo, de manera sistemática, la mencionada valoración y poder hacer el seguimiento de la evolución del estado ecológico de los ríos que propone la propia Directiva Marco.

Este índice hidrogeomorfológico (IHG) tiene como objetivo fundamental solucionar o reducir los problemas ambientales de los sistemas fluviales, para mejorar y conservar su funcionalidad y naturalidad, así como reivindicar sus valores hidrogeomorfológicos.

A priori, cuenta con los mismos condicionantes que las demás iniciativas de valoración de los sistemas fluviales, entre los que destacan la escala de trabajo, la financiación económica, la información previa disponible, la subjetividad de los evaluadores, la dificultad de encontrar modelos de referencia, etc. También le afectan dos condicionantes específicos: por un lado,

la dificultad de aplicar diferentes indicadores establecidos por la Directiva 2000/60/CE en el ámbito mediterráneo; por otro lado, el sesgo profesional que nos lleva a reclamar una mayor autonomía de los indicadores hidromorfológicos frente a los biológicos, sin soslayar con ello la importancia de estos últimos.

La construcción del índice IHG se sustenta en la idea de que todos los impactos realizados por el hombre sobre el sistema fluvial, tanto sean directos sobre el cauce como indirectos sobre cuencas y vertientes, tienen una respuesta en el funcionamiento hidrológico y geomorfológico del sistema y en sus propias morfologías de cauce y riberas. Esa incidencia puede ser inmediata o diferida en el tiempo. El hecho de que el índice IHG se base en un trabajo de búsqueda o identificación de impactos o presiones puede hacerlo también muy útil en la planificación (Danés, coord., 2005) y en la restauración fluvial.

Por supuesto, la aplicación del índice IHG requiere de las fases previas de tramificación y tipificación que ya han sido comentadas en el apartado anterior. Además, queda supeditada a la participación de expertos en dinámica fluvial que, a través del trabajo de campo y del análisis de fotografías aéreas, sean capaces de detectar presiones e impactos sobre el sistema fluvial que puedan restringir su funcionalidad, continuidad, naturalidad, complejidad y dinamismo.

El índice IHG realiza la evaluación de la calidad hidrogeomorfológica de los sistemas fluviales a partir de tres grupos de parámetros: calidad funcional del sistema fluvial, calidad del cauce y calidad de las riberas.

- La valoración de la calidad funcional del sistema fluvial se calcula consi-

derando la naturalidad del régimen de caudal, la disponibilidad y movilidad de sedimentos y la funcionalidad de la llanura de inundación.

- La valoración de la calidad del cauce tiene presente la naturalidad del trazado y de la morfología en planta, la continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales, y la naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral.
- La valoración de la calidad de las riberas considera la continuidad longitudinal del corredor ribereño, su anchura, estructura y naturalidad, y su interconectividad transversal. Se entiende por corredor ribereño el espacio en el que se ha movido el cauce menor de un curso fluvial durante las últimas décadas; se trata, por tanto, de la banda central de la llanura de inundación, integrada por el cauce, su cortejo de bosques ribereños y los paleocauces más recientes, algunos de ellos todavía utilizados durante las crecidas.

Cada uno de los nueve parámetros tiene un procedimiento de evaluación que sirve de soporte material para anotar los valores numéricos de la valoración. El valor máximo alcanzable son 90 puntos, 10 procedentes de cada parámetro.

La aplicación de este índice puede ser muy versátil, ya que admite la valoración de un solo grupo de parámetros o la del conjunto. Igualmente, es posible establecer ponderaciones en aquellos casos en los que se considere que uno de los parámetros condiciona en mayor medida que los demás la calidad hidrogeomorfológica del sistema fluvial. Incluso, admite cierta variación en los límites de los intervalos que determinan los distintos estados de calidad hidrogeomorfológica.

La propuesta inicial para dichos intervalos es la siguiente:

- calidad hidrogeomorfológica muy buena: 75 a 90 puntos
- calidad hidrogeomorfológica buena: 60 a 74 puntos
- calidad hidrogeomorfológica aceptable: 42 a 59 puntos
- calidad hidrogeomorfológica mala: 21 a 41 puntos
- calidad hidrogeomorfológica muy mala: 0 a 20 puntos

## CONCLUSIONES

La cuenca del río Martín incluye paisajes de una gran riqueza y espectacularidad natural. Presenta unas condiciones ambientales marcadas por el contraste entre el sector perteneciente a las serranías ibéricas turolenses y el englobado en la Depresión del Ebro. Un aspecto muy relevante de las características de su medio físico es la escasa cantidad de precipitaciones que llegan hasta ella, generando un déficit hídrico marcado en el tramo bajo.

En la red fluvial, el río Martín actúa como colector principal, al que vierten sus aguas afluentes tanto de caudal continuo como esporádico, siendo dignos de mención los ríos Segura, de la Rambla y de las Parras en la cabecera, los ríos Radón y Seco, junto al barranco del Mortero, en la margen izquierda, y los ríos de Cabra y Ecuriza, en la margen derecha. Sus cauces muestran morfologías cambiantes, entre las que destacan profundos cañones fluvio-kársticos esculpidos preferentemente en series calcáreas mesozoicas.

Los ríos con flujo permanente de agua son poco caudalosos, incluido el Martín, mostrando una irregularidad interanual

considerable, con clara influencia mediterránea, crecidas de rápida evolución y profundos estiajes. Las variaciones estacionales de caudal, en el aforo de Alcaine, presentan un periodo de aguas altas en primavera y en invierno, frente a un estiaje estival, todo ello reflejo directo del ritmo de las precipitaciones. Aguas abajo del embalse de Cueva Foradada el régimen fluvial varía sensiblemente, ya que se ve profundamente modificado por la intervención del hombre, con su gestión y uso de los recursos hídricos.

La evaluación ambiental del río Martín y algunos de sus principales afluentes, desde una perspectiva hidromorfológica, se ha realizado en el contexto del proyecto de reconocimiento inicial del estado ecológico de los ríos de Aragón mediante indicadores hidromorfológicos. Para ello hubo que definir una metodología de trabajo que ha sido brevemente expuesta en este trabajo. Se definieron 17 tipos de cursos fluviales en la red fluvial aragonesa, de los que 6 se encuentran representados en la cuenca del río Martín.

Se procedió a definir el estado de calidad hidromorfológica de los 723 sectores funcionales que integran la red aragonesa. Se incluía la valoración, a través del trabajo de campo y de gabinete, de 14 tramos fluviales del río Martín y sus afluentes. Se encontró que los ubicados en los sectores altos de los ríos disfrutaban de un buen estado de calidad, que se deteriora en los sectores bajos, especialmente en las proximidades de la desembocadura del río Martín en el Ebro.

La conveniencia de elaborar un índice hidrogeomorfológico con el que realizar, en futuros trabajos, la evaluación del estado de calidad hidrogeomorfológica de los sistemas fluviales, así como hacer un seguimiento temporal de su evolución, se

ha evidenciado a partir de dos hechos esenciales:

- la importancia dada por la Directiva Europea Marco del Agua al mantenimiento de la dinámica fluvial y a una serie de indicadores hidromorfológicos para valorar la calidad ecológica de los cursos fluviales.
- la positiva experiencia de valoración inicial del estado ecológico de los ríos de Aragón a partir de indicadores hidromorfológicos (Ollero et al. 2004).

Por ello, se ha trabajado en el índice hidrogeomorfológico (IHG), que pretende ser una herramienta de valoración de la calidad hidrogeomorfológica de los sistemas fluviales, simplificando o completando, según los casos otros índices preexistentes y llenando un vacío metodológico en España, donde los antecedentes son índices de riberas no específicamente hidrogeomorfológicos.

Este índice se basa en el análisis de las presiones e impactos antrópicos sobre los elementos y funciones hidrogeomorfológicas del sistema fluvial. Puede ser utilizado completo o bien parcialmente la calidad del cauce o la calidad de la ribera.

## Bibliografía

- Albisu, J.; Andrés, V.; Cortés, P.; De la Riva, J.; García, M.; Pérez, F. y Sánchez, M. "Las aguas" en Escolano, S. (dir.). *Atlas multimedia de geografía de Aragón*. CAI-Institución Fernando El Católico-Universidad de Zaragoza, 1998.
- Ballarín, D.; Mora, D.; Díaz, E.; Echeverría, M.T.; Ibsate, A.; Montorio, R.; Ollero, A. y Sánchez, M. "Criterios para la valoración Hidrogeomorfológica de cursos fluviales. Aplicación en Aragón". *Geographica*, 49. 2006, pp. 51-69.
- Bizjak, A. y Mikos, M. "Síntesis procedure of assessing the hydromorphological status of river corridors: the Dragonja river case study" in *Proceedings of 5th International Symposium on Ecohydraulics. Aquatic Habitats: analysis and restoration*, I. Madrid, 2004, pp. 325-330.
- Bonada, N. et al. "Intercalibración de la metodología GUADALMED. Selección de un protocolo de muestreo para la determinación del estado ecológico de los ríos mediterráneos". *Limnetica*, 21(3-4). 2002, pp. 13-33.
- Brierley, G.J. y Fryirs, K. A. *Geomorphology and river management. Applications of the River Styles Framework*. Oxford. Blackwell, 2005.
- Consejo Económico y Social de Aragón. *Uso y gestión del agua en Aragón*. Zaragoza, CESA, 2003, 336 pp.
- Cuadrat, J. M. *El agua y sus usos en la Cuenca del Ebro*. Zaragoza, Heraldo de Aragón. Colección Padre Ebro, 2003, 490 pp.
- Del Valle, J. *Funciones y usos del agua en la Cuenca del Ebro*. Zaragoza, Ed. Prames, 2003, 171 pp.
- Del Valle, J.; Ollero, A. y Sánchez, M. *Atlas de los ríos de Aragón*. Zaragoza, Ed. Prames, 2007, 478 pp.
- Fleischhacker, T. y Kern, K. *Ecomorphological survey of large rivers*. Koblenz, German Federal Institute of Hydrology, 2002.
- Frutos, L. M.; Ollero, A. y Sánchez, M. "Caracterización del Ebro y su cuenca y variaciones en su comportamiento hidrológico" en Gil Olcina, A. (Dir.). *Alteración de los regímenes fluviales peninsulares (1901-2000)*. Instituto Euromediterráneo de Hidrotécnica-Cajamurcia, 2004, pp. 233-280.
- González del Tánago, M. "Índice RQI para la evaluación de las condiciones riparias en el contexto de la DMA. Aplicación a la cuenca del Guadiana". *Jornada sobre instrumentos para la valoración de la calidad hidromorfológica en ríos. Aplicación de la Directiva Marco del Agua*. Barcelona, Agencia Catalana de l'Aigua (no publicado), 2006.
- Guillén, M. P. *Las cuencas fluviales turolenses*. Tesis Doctoral (inédita). Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, 2001, 639 pp. y anexo cartográfico.
- Ladson, A. R.; Doolan, J.; White, L. J.; Metzeling, L. y Robinson, D. "Index of Stream Condition as a tool to aid management of rivers". *23th Hydrology and Water Resources Symposium*. Hobart, Institution of Engineers, 1996, pp. 325-332.
- Lawa. *Gewässerstrykturgütebewertung in der Bundesrepublik. Verfahren für kleine und mittelgroße Fließgewässer*. Berlin, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, 2000.
- Lozano, M. V.; Peña, J. L.; Longares, L. A. y Sánchez, M. "Cañones del río Martín entre Oliete y Albalate del Arzobispo (Cordillera Ibérica, Teruel)" en Peña, J. L.; Longares, L. A. y Sánchez, M. (eds.). *El medio físico de Aragón: aspectos generales y temáticos*. Universidad de Zaragoza-Institución Fernando El Católico, 2004, pp. 213-230.

- Muhar, S.; Unfer, G.; Schmutz, S.; Jungwirth, M.; Egger, G. y Angermann, K. "Assessing river restoration programmes: habitat conditions, fish fauna and vegetation as indicators for the possibilities and constraints of river restoration" in *Proceedings of 5th International Symposium on Ecohydraulics. Aquatic Habitats: analysis and restoration*, 1. Madrid, 2004, pp. 300-305.
- Munné, A.; Solà, C. y Pagés, J. *HIDRI: Protocolo para la valoración de la calidad hidromorfológica de los ríos*. Barcelona, Agència Catalana de l'Aigua, 2006, 160 pp.
- Munné, A.; Solà, C. y Prat, N. "QBR: un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera". *Tecnología del agua*, 175. 1998, pp. 20-37.
- Nadal, E.; Lacasa, M. y Barrera, M. *Aragón y el agua*. Zaragoza, Ibercaja, 1998, 219 pp.
- Ollero, A. *Los meandros libres del Ebro medio (Logroño-La Zaida): geomorfología fluvial, ecogeografía y riesgos*. Tesis doctoral. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, 1992, 1.138 pp. + cartografía.
- Ollero, A. *El curso medio del Ebro: geomorfología fluvial, ecogeografía y riesgos*. Zaragoza, Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, 1996, 311 pp.
- Ollero, A. "Ecogeografía del río Ebro" en Cal, P. de la y Pellicer, F. (Coords.). *Ríos y ciudades. Aportaciones para la recuperación de los ríos y riberas de Zaragoza*. Zaragoza, Institución Fernando el Católico, 2002, pp. 135-157.
- Ollero, A. y Pellicer, F. "Middle Ebro river channel and floodplain: geomorphology, recent changes, risks and management on a fluvial system of free meanders" in Sala, M.; Rubio, J. M. & García Ruiz, J. M. (Eds.). *Soil erosion studies in Spain*. Logroño, Geoforma, 1991, pp. 203-210.
- Ollero, A.; Ballarín, D.; Díaz, E.; Mora, D. y Sánchez, M. "Calidad hidromorfológica de los ríos de Aragón". *Tecnología del Agua*, 278. 2006, pp. 36-40.
- Ollero, A.; Ballarín, D.; Díaz, E.; Echeverría, M. T.; Motorío, R.; Mora, D. y Sánchez, M. *Reconocimiento inicial del estado ecológico de los ríos de Aragón mediante la caracterización de los indicadores hidromorfológicos del anexo V de la Directiva 2000/60/CE*. Departamento de Medio Ambiente, Gobierno de Aragón (informe inédito), 2004.
- Ollero, A.; Ballarín, D.; Díaz, E.; Mora, D.; Sánchez, M.; Acín, V.; Echeverría, M. T.; Granado, D.; Ibisate, A.; Sánchez Gil, L. y Sánchez Gil, N. (en prensa).
- "IHG: un índice para la valoración hidrogeomorfológica de sistemas fluviales". *Geographicalia*.
- Ollero, A.; Echeverría, M. T.; Sánchez, M.; Auria, V.; Ballarín, D. y Mora, D. "Metodología para la tipificación hidromorfológica de los cursos fluviales de Aragón en aplicaciones de la directiva marco de aguas (2000/60/CE)". *Geographicalia*, 44. Zaragoza, Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, 2003, pp. 7-25.
- Ollero, A.; Sánchez, M. y Del Valle, J. "Problemática actual del corredor ribereño del Ebro aragonés en su curso de meandros libres" en Peña, J. L.; Longares, L. A. y Sánchez, M. (Eds.). *El medio físico de Aragón: aspectos generales y temáticos*. Universidad de Zaragoza-Institución Fernando El Católico, 2004, pp. 253-263.
- Ollero, A.; Sánchez, M.; Marín, J. M.; Fernández, D.; Ballarín, D.; Mora, D.; Motorío, R.; Beguería, S. y Zúñiga, M. "Caracterización hidromorfológica del río Gállego" en Peña, J. L.; Longares, L. A. y Sánchez, M. (Eds.). *El medio físico de Aragón: aspectos generales y temáticos*. Universidad de Zaragoza-Institución Fernando El Católico, 2004, pp. 117-129.
- Prichard, D. et al. *Process for assessing proper conditions*. Denver, Bureau of Land Management Service Center, 1993, rev. 1995.
- Raven, P. J.; Boon, P. J.; Dawson, F. H. y Ferguson, A. J. D. "Towards an integrated approach to classifying and evaluating rivers" in UK. *Aquatic Conservation. Marine and Freshwater Ecosystems*, 8 (4), 1998, pp. 383-393.
- Sánchez, M. "Aportación al estudio hidrológico del río Alfambra (prov. de Teruel)". *Geographicalia*, 30. Zaragoza, 1993, pp. 347-360.
- Sánchez, M.; Ollero, A. y Del Valle, J. "La red fluvial de Aragón" en Peña, J. L.; Longares, L. A. y Sánchez, M. (Eds.). *El medio físico de Aragón: aspectos generales y temáticos*. Universidad de Zaragoza-Institución Fernando El Católico, 2004, pp. 55-70.
- San Román, J. *Ríos y humedales de Aragón*. Prames, 2004, Rutas CAI por Aragón, 143 pp.
- Siligardi, M. (Coord.) I.F.F. *Indice de funzionalità fluviale*. Roma, Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, 2003.
- Solsona, F. *Setenta paseos por los ríos de Aragón*. Zaragoza, Prames, 2005, 293 pp.