



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL Y MARINO

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL EBRO

Aplicación del índice hidromorfológico IHG en la cuenca del Ebro

Guía metodológica



Autor: **Alfredo Ollero Ojeda**. Profesor Titular de Geografía Física. Universidad de Zaragoza.
con la colaboración de: **Daniel Ballarín Ferrer** y **Daniel Mora Mur**. Mastergeo S.L.

Zaragoza, enero de 2009

1. Presentación	4
2. Los fundamentos ambientales del índice	6
2.1. Procesos hidrogeomorfológicos y funcionamiento fluvial.....	6
2.2. Impactos hidrogeomorfológicos en los ríos europeos.....	9
2.2.1. Desnaturalización hidrológica y efecto de embalses.....	9
2.2.2. Reducción de flujos sedimentarios.....	12
2.2.3. Reducción funcional de las llanuras de inundación.....	13
2.2.4. Acciones directas sobre los cauces.....	14
2.2.5. Deterioro de las riberas.....	20
2.3. Principios hidrogeomorfológicos en la restauración fluvial.....	21
2.4. Indicadores hidromorfológicos para la evaluación fluvial.....	22
2.4.1. Indicadores básicos.....	22
2.4.2. Presiones e impactos.....	24
2.4.3. Indicadores de detalle.....	26
2.5. Antecedentes en la evaluación hidromorfológica.....	28
3. El índice IHG	33
3.1. Objetivos, utilidad y condicionantes.....	33
3.2. Fundamentos metodológicos.....	34
3.2.1. La delimitación de tramos o sectores funcionales.....	34
3.2.2. Fotografías aéreas, cartografía y documentación.....	36
3.2.3. Trabajo de campo.....	37
3.2.4. Dificultades de aplicación.....	38
4. Procedimiento de aplicación del índice	41
4.1. Calidad funcional del sistema fluvial.....	41
4.1.1. Naturalidad del régimen de caudal.....	41
4.1.2. Disponibilidad y movilidad de sedimentos.....	43
4.1.3. Funcionalidad de la llanura de inundación.....	46
4.2. Calidad del cauce.....	48
4.2.1. Naturalidad del trazado y de la morfología en planta.....	49
4.2.2. Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales.....	52
4.2.3. Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral.....	56
4.3. Calidad de las riberas.....	60
4.3.1. Continuidad longitudinal.....	60
4.3.2. Anchura del corredor ribereño.....	62
4.3.3. Estructura, naturalidad y conectividad transversal.....	64
4.4. Valoración final y adaptabilidad del índice.....	68
5. Ejemplos de aplicación	69
5.1. Río Belagua.....	69
5.2. Curso bajo del Huerva.....	72
5.3. Zoom: río Huerva en el casco urbano de Zaragoza.....	76
6. Conclusiones	78
Glosario	79
Referencias	87
Anexo: Ficha de cumplimentación del IHG	92

1. PRESENTACIÓN

Esta guía metodológica explica la aplicación del índice hidrogeomorfológico IHG, una herramienta de valoración de los indicadores hidromorfológicos para determinar el estado ecológico de los sistemas fluviales. A lo largo de las páginas siguientes se analizarán los fundamentos ambientales del índice y se explicará el proceso metodológico de aplicación del mismo, con el apoyo de ejemplos concretos.

El índice hidrogeomorfológico “IHG” se ha gestado a lo largo de varios años de trabajo por un equipo de geógrafos (iniciado en la Universidad del País Vasco hacia 1996 y consolidado en la Universidad de Zaragoza desde 2002) que ha desarrollado una línea de investigación científica sobre sistemas fluviales, a través de diferentes proyectos aplicados y publicaciones científicas. Este equipo de trabajo ha ido estudiando ríos, torrentes de montaña, barrancos y ramblas y ha adquirido una creciente preocupación por el estado actual de deterioro de dichos sistemas. En consecuencia, se ha ido investigando también en sistemas de valoración para diagnosticar correctamente esos problemas y sus causas y para buscar soluciones, en la línea de la necesaria y urgente restauración fluvial.

Paralelamente, el desconocimiento de la dinámica hidrogeomorfológica fluvial desde diferentes ámbitos, ha llevado al equipo de trabajo a realizar un importante esfuerzo tanto en la educación sobre las funciones de dicha dinámica como en su reivindicación como valor a proteger en sí mismo.

Además, la progresiva implementación de la Directiva Marco del Agua (2000-60-CE) fue llevando a que diferentes administraciones públicas se interesaran por estos trabajos. La exigencia de evaluar indicadores hidromorfológicos, las dificultades técnicas para hacerlo y la escasez de especialistas en geomorfología fluvial aplicada, provocaron una demanda de sistemas sencillos de valoración de la calidad hidromorfológica.

Nació así como tal el índice IHG, fruto de la confluencia de la preocupación ambiental por nuestros ríos con la necesidad de aplicación de la Directiva. El índice fue expuesto públicamente por primera vez en Barcelona el 20 de abril de 2006, en la “Jornada sobre instrumentos para la valoración de la calidad hidromorfológica en ríos. Aplicación de la Directiva Marco del Agua”, organizada por la Agència Catalana de l’Aigua. Posteriormente ha sido publicado en las revistas *Geographicalia* (Ollero *et al.*, 2007) y *Limnetica* (Ollero *et al.*, 2008), pero está en continua revisión conforme se va poniendo en práctica.

En aplicación de la Directiva, en la Demarcación Hidrográfica del Ebro se redefinieron en 2006 las redes de control de calidad, unificándose en una red global llamada C.E.M.A.S. (Control del Estado de las Masas de Agua Superficiales), que a su vez está subdividida

en varias redes: control de zonas protegidas, control de vigilancia, control operativo, red de referencia... En 2007 se pusieron en marcha las nuevas redes, muestreando en los distintos puntos los indicadores físico-químicos, hidromorfológicos y biológicos, como exige la Directiva. De forma complementaria, para la medida de los indicadores hidromorfológicos en toda la cuenca del Ebro (355 puntos de muestreo) se está realizando desde el verano de 2008 la aplicación sistemática del índice IHG. La presente guía metodológica actualiza el índice desde esta nueva experiencia en el conjunto de la cuenca.

El trabajo de aplicación del índice está siendo realizado por Daniel Ballarín Ferrer y Daniel Mora Mur (Mastergeo SL), que han aportado sus resultados a los ejemplos de aplicación presentados en esta guía. La redacción de la misma ha estado a cargo de Alfredo Ollero Ojeda, Profesor Titular de Geografía Física de la Universidad de Zaragoza. Los tres geógrafos citados, coautores del índice en sus versiones publicadas, quieren mostrar su agradecimiento a los otros coautores que participaron en el diseño del índice: los profesores titulares de Geografía Física Miguel Sánchez Fabre y María Teresa Echeverría Arnedo (Universidad de Zaragoza) y Askoa Ibisate González de Matauco (Universidad del País Vasco) y los geógrafos Vanesa Acín Naverac y David Granado García (Ecoter SC), Elena Díaz Bea, Lorena Sánchez Gil y Noelia Sánchez Gil, así como a los también geógrafos Sergio Domenech Zueco, Horacio García García y Laura Elisabet Gonzalo Peña, que están aplicando el índice en diferentes proyectos y colaboran actualmente junto con los anteriores en la preparación de la versión en inglés del IHG.

2. LOS FUNDAMENTOS AMBIENTALES DEL ÍNDICE

2.1. Procesos hidrogeomorfológicos y funcionamiento fluvial

Los ríos son sistemas naturales enormemente dinámicos y complejos cuya principal función es el transporte de agua, sedimentos, nutrientes y seres vivos, conformando corredores de gran valor ecológico, paisajístico y bioclimático. Por tanto, la red fluvial constituye un elemento clave en la dinámica ambiental y en la planificación territorial. Los ríos cuentan con mecanismos de autorregulación de sus escorrentías extremas y con sistemas de autodepuración, llegando a regular también los procesos litorales (deltas, playas, etc.). Todas estas valiosas funciones fluviales sólo pueden ser desarrolladas en los ríos, barrancos y ramblas que conservan una dinámica activa con procesos naturales de erosión, transporte y sedimentación (Ollero, 2007), es decir, sólo si se respetan los diferentes grados de libertad –en planta, anchura y calado- geomorfológica (Martín Vide, 2006).

Estos sistemas naturales en equilibrio dinámico o ajuste permanente, cuentan con esa dinámica o movilidad geomorfológica, lateral y vertical, como mecanismo de regulación de las fluctuaciones de los caudales líquidos y sólidos (Werritty, 1997).

El cauce fluvial es un elemento geomorfológico construido por el propio río para evacuar con eficiencia los caudales tanto hídricos como sólidos. Su morfología y dimensiones son modeladas por sobrantes energéticos, de manera que quedan ajustadas para poder conducir las crecidas ordinarias entre las orillas. En ríos y ramblas mediterráneos los procesos controlan a las formas en episodios de gran magnitud, mientras que las formas controlan a los procesos con caudales medios y bajos (Graf, 1988). El perfil longitudinal, generalmente resuelto en una sucesión de rápidos y remansos, es también un mecanismo automático que regula el transporte y da unidad y continuidad a todo el sistema.



Sucesión de rápidos y pozas en el río Piedra. Foto: Alfredo Ollero.



Un curso fluvial de notable actividad geomorfológica, el barranco Regajo formando un cono en su desembocadura en el río Cidacos. Foto: Alfredo Ollero.

La llanura de inundación o cauce mayor es recinto de disipación de energía de las aguas desbordadas y de almacenamiento de caudal a lo largo del proceso, efecto laminador que repercute en la reducción del caudal-punta aguas abajo. Es también un recinto de decantación, responsable del crecimiento vertical de los depósitos y de la fertilidad de los materiales finos que la corriente transportaba en suspensión. La inundación recarga el acuífero aluvial que se encuentra bajo la llanura, garantizando un nivel freático elevado. Dentro de la llanura de inundación se desarrolla el corredor ribereño, mosaico de terrenos definidos por el tipo de sedimento y su altitud relativa respecto al cauce y al freático.

Las especies de ribera están adaptadas a todos estos procesos de erosión y sedimentación. La dinámica geomorfológica fluvial es el motor de una dinámica ecológica intensa, garante de la riqueza y diversidad de estos sistemas naturales (Malavoi *et al.*, 1998). La geomorfología determina una gran variedad de hábitats muy variables en el tiempo, favoreciendo la biodiversidad y productividad de los ecosistemas acuáticos y ribereños (González del Tánago y García de Jalón, 2007). Las pulsaciones, ritmos o fluctuaciones de caudal regulan los intercambios ecológicos entre las distintas unidades acuáticas y terrestres del hidrosistema fluvial y, por tanto, son fundamentales para la supervivencia de los corredores ribereños (Junk *et al.*, 1989; Tockner *et al.*, 2000). Las crecidas con abundante caudal líquido y sólido constituyen el motor de la dinámica fluvial.

Así pues, los procesos hidrogeomorfológicos son la base fundamental del correcto funcionamiento de los cursos fluviales como ecosistemas. La dinámica fluvial es la clave tanto del funcionamiento como del valor ecológico, paisajístico y ambiental de los sistemas fluviales (Ollero, 2007). Y, en consecuencia, los indicadores hidrogeomorfológicos son clave para determinar el estado ecológico de los ríos. Puede hablarse, por tanto, de una “calidad hidrogeomorfológica” y de la geomorfología fluvial como patrimonio natural.

Si se quiere conservar un río como ecosistema y como corredor ambiental en el territorio, se debe proteger ante todo su dinámica hidrogeomorfológica, porque ésta es la que va a garantizar la biodiversidad, la calidad ambiental y la protección de todos y cada uno de los elementos del sistema y sus relaciones (Brierley y Fryirs, 2005). Es esa dinámica la que garantiza que haya un corredor ribereño, más complejo y diverso cuanto más activos sean los procesos, y también asegura que las biocenosis acuáticas y ribereñas se asienten, se desarrollen y se desplacen, por lo que para contar con ríos vivos hay que proteger su dinámica (Ollero, 2003). Toda reactivación de la dinámica fluvial en un sector antiguamente móvil pero actualmente estabilizado, se traduce en un plazo muy corto en una reactivación de la dinámica ecológica y, por tanto, en un incremento de la biodiversidad y de la calidad de los ecosistemas acuáticos y ribereños (Malavoi *et al.*, 1998). Cualquier merma o eliminación de la dinámica fluvial genera los efectos inversos, es decir, pérdida de biodiversidad y de calidad ecológica.



Curso fluvial con procesos activos de erosión, sedimentación y colonización vegetal: río Aragón aguas abajo de Jaca. Foto: Alfredo Ollero.

Sólo los ríos que mantienen esa dinámica pueden funcionar correctamente como sistemas, es decir, cumplir sus funciones en la naturaleza. Pero diversas actividades humanas presentan una alta capacidad de modificación del funcionamiento hidrológico y de la dinámica fluvial. Precisamente el funcionamiento dinámico de ríos y ramblas, su actividad continua, que los hace valiosísimos como sistemas naturales, es lo que dificulta su gestión y ha llevado a obras de contención o de fijación enormemente impactantes en los ecosistemas fluviales, ya que han reducido drásticamente la propia dinámica geomorfológica. Todo ello deriva del hecho de que la dinámica fluvial dificulta a la actividad económica.

En Europa las alteraciones hidrológicas y geomorfológicas de los ríos son muy graves y extendidas (Ollero, en prensa). Hay incluso valiosas tipologías fluviales, como los cursos trenzados (*braided*), que están a punto de desaparecer. La destrucción antrópica de las dinámicas hidrogeomorfológicas fluviales, extendida en todos los países y acelerada en

las últimas décadas, se ha desarrollado en ocasiones por desprecio y a veces por desconocimiento, de forma inconsciente o bien interesada. Cada vez se ejecutan más actuaciones directas en cauces y riberas relacionadas con los crecientes procesos de urbanización, actuaciones que son especialmente agresivas contra los procesos hidrogeomorfológicos y las morfologías fluviales.

Estas importantes afecciones en la geomorfología fluvial de muchas acciones humanas no suelen ser valoradas. En España es sintomático que en muchos informes y proyectos ni siquiera se contempla el impacto geomorfológico en los cauces y no se observa preocupación por esta carencia. Incluso en los colectivos conservacionistas no suele atenderse a esta preocupación, sino que suelen limitarse a la defensa del medio biótico. En suma, se constata una falta de atención generalizada hacia la dinámica geomorfológica de los sistemas fluviales, paralela a un consolidado menosprecio social por los cauces de gravas, por los lechos secos o por las orillas inestables.

2.2. Impactos hidrogeomorfológicos en los ríos europeos

Los ríos y corredores ribereños son los espacios naturales más dañados y amenazados de Europa (Tockner y Stanford, 2002). El origen básico de las alteraciones hidrogeomorfológicas de los ríos europeos se encuentra en el propio desarrollo socioeconómico, con actividades que consumen territorio (espacio fluvial), agua y sedimentos (áridos), y con exigencias sociales de seguridad (frente a inundaciones), estabilidad (frente a dinámica) y modas y modelos urbanos (frente a naturalidad).

A esta realidad, consolidada y en crecimiento, hay que añadir además que la geomorfología fluvial no se valora en su justa medida, lo cual se manifiesta en lagunas legales, desconocimiento socioeducativo, equivocada confianza frente al riesgo, inercias profesionales, deficiencias en la gestión, falsas restauraciones...

Todo lo expuesto implica múltiples presiones e impactos sobre el sistema fluvial, directos sobre el cauce e indirectos sobre cuencas y vertientes, a veces diferidos en el tiempo, y que alteran el funcionamiento hidrogeomorfológico del sistema, tanto los procesos como las formas.

2.2.1. Desnaturalización hidrológica y efecto de embalses

Numerosas alteraciones geomorfológicas se deben a alteraciones hidrológicas en volumen, régimen y procesos extremos, en la cuenca o en el propio curso, aguas arriba. Estas modificaciones en el funcionamiento hidrológico son causadas por embalses, derivaciones, vertidos, detracciones, retornos, trasvases, cambios de usos del suelo y procesos de urbanización de la cuenca, incendios, repoblaciones.... Los embalses son los principales

artífices de las alteraciones hidrológicas, sobre todo por tres efectos: a) reducen caudales por derivaciones y por incremento de la evaporación desde su vaso, b) modifican el régimen hidrológico aguas abajo regularizándolo (laminan las aguas altas y reducen también los estiajes) y c) reducen el número de crecidas ordinarias.

Al modificarse el caudal, cambia la potencia y competencia de la corriente y con ello se modifican los procesos de erosión, transporte y sedimentación, adaptándose a la nueva situación la morfología y las dimensiones tanto del cauce (fondo del lecho, márgenes, barras sedimentarias...) como de las riberas. En casos de urbanización o incendios en la cuenca y de vertidos o recepción de trasvases, la alteración conlleva incrementos en el volumen de caudal y en su torrencialidad que pueden aumentar o excitar la dinámica geomorfológica. Pero en la mayor parte de los casos, las modificaciones antrópicas generan reducción de caudal y, con ello, disminución de la dinámica, reducción de la actividad en las márgenes erosivas, reducción de la capacidad de movilización y transporte del caudal sólido y alteraciones en la granulometría de los materiales depositados y en su ubicación en el cauce o sus márgenes. Los casos más extremos corresponden a los “cortocircuitos” hidroeléctricos al pie de algunos embalses y minicentrales, en los que quedan prácticamente en seco tramos fluviales que pierden totalmente su dinámica geomorfológica, convirtiéndose en cauces fosilizados, incapaces de movilizar los sedimentos. La escasa corriente circulante, concentrada en el centro del canal, incidirá en el lecho mientras carece de capacidad para la dinámica lateral. El resultado será el descenso del freático y con ello la desaparición de la ribera, que queda “colgada” y expuesta a la colonización de especies climácicas ajenas a la vegetación ripícola. Un ejemplo paradigmático es el del tramo del Cinca al pie de la presa de El Grado y hasta la confluencia del Ésera (Ollero *et al.*, 2001).



El río Cinca al pie de la presa de El Grado sufre un notable proceso de incisión que ha favorecido la matorralización de la ribera, como puede observarse en la foto. También es visible el cubrimiento de algas y finos en los cantos del lecho, debidos a la escasez de caudales, incapaces de movilizar los sedimentos. Foto: Ana Sáenz de Olazagoitia.

Aguas abajo de los embalses encontramos alteraciones geomorfológicas muy marcadas (Brandt, 2000) que se prolongan a lo largo de todo el sistema fluvial y se manifiestan de forma progresiva en el tiempo. Una de ellas es la fuerte incisión lineal en el primer tramo al pie de presa, acompañada de acorazamiento. Igualmente originan tendencias a

la incisión lineal en largos sectores más abajo, por efecto de la merma de caudal hídrico y consiguientemente también sólido (“aguas limpias”), lo cual lleva también a un descenso del freático.



Desnaturalización hidrológica y acorazamiento de bloques al pie del embalse de Paso Nuevo en el río Ésera. Foto: Daniel Mora.

Un resultado de la reducción del número y caudal punta de las crecidas aguas abajo de los embalses es el rápido desarrollo de una vegetación de ribera madura, en muchos ríos que no contarían con ella en condiciones naturales. Es madura pero se ve obligada a aproximarse progresivamente hasta asentarse en la misma orilla del cauce menor y en las islas y barras, debido al mencionado descenso del freático. Todos estos procesos suelen llevar a cambios de estilo geomorfológico fluvial, siendo clara la tendencia a la simplificación del cauce, que en zonas de piedemonte pasa de trezado a cauce único con cierto encajamiento y sinuosidad, tal como ha ocurrido en la mayoría de los cursos alpinos, pirenaicos e ibéricos.

A estos efectos geomorfológicos de los embalses hay que añadir otros como la pérdida de patrimonio fluvial (tramos que dejan de ser río para convertirse en un lago de grandes fluctuaciones) o la ruptura del continuo fluvial, desconexión que origina también graves problemas ecológicos.



Evolución del cauce del curso bajo del Gállego, un río muy regulado por embalses aguas arriba. Fuente: Ayuntamiento de Zaragoza.



Tramo fluvial con importante proceso de incisión por efecto de una minicentral hidroeléctrica en el río Aragón en Caparroso. El cauce incide por erosión remontante desde la descarga del canal de la minicentral, que se produce aguas abajo de la imagen. Foto: Alfredo Ollero.

2.2.2. Reducción de flujos sedimentarios

En muchos ríos hay marcados déficit sedimentarios derivados de la presencia de presas aguas arriba o en los afluentes, o bien de la presencia de obstáculos laterales (vías de comunicación, por ejemplo) que desconectan el sistema fluvial de las vertientes e impiden los aportes sólidos desde éstas.

También suele haber obstáculos locales en el propio cauce (vados, puentes...) que originan dificultades en la movilización del flujo sedimentario. La retención de sedimentos en los embalses presenta consecuencias negativas aguas abajo, tanto en el propio sistema fluvial como en deltas y playas. En muchas regiones europeas el éxodo rural en las áreas de montaña ha llevado a la recuperación del bosque y a la regularización de laderas, que emiten muchos menos sedimentos que en el pasado. En cursos bajos las defensas y canalizaciones impiden que el río erosione sus propias terrazas, desconectándose las márgenes de los *talweg*.



Presa de retención de sedimentos en el barranco de Arás en Biescas. Foto: Alfredo Ollero.



Vado en el río Bullaque, afluente del Guadiana. Foto: Alfredo Ollero.

El déficit en los flujos sedimentarios origina cambios en los estilos fluviales (Sear y Newson, 2003), siendo responsable de tendencias como la desaparición de los cauces trenzados y su sustitución por cauces únicos. En ríos sinuosos y meandriformes el déficit de sedimentos provoca también incisión (Liébault y Piégay, 2002; Surian y Rinaldi, 2003), pero acompañada de incremento de la sinuosidad, que se explica principalmente por la colonización y maduración vegetal de los lóbulos de meandro. Así, las barras de sedimentos no son ya movilizadas, mientras la vegetación que las coloniza conduce el flujo contra las márgenes cóncavas incrementando su erosión.

2.2.3. Reducción funcional de las llanuras de inundación

El papel hidrogeomorfológico de las llanuras de inundación es alterado por infraestructuras y usos del suelo que modifican su funcionalidad. En muy pocos ríos de llanura europeos el llano de inundación puede ejercer sin restricción antrópica sus funciones de disipación de energía en crecida, laminación de caudales-punta por desbordamiento y decantación de sedimentos. En la mayor parte de los casos la llanura de inundación cuenta con defensas longitudinales (diques o motas) que restringen esas funciones naturales. Cuanto más continuas sean estas defensas y más próximas se encuentren al cauce menor, más restringen la inundación. Esa es su función como infraestructuras, la salvaguardia de los bienes expuestos, ya que la ocupación humana de los espacios inundables origina estas situaciones de riesgo. Ahora bien, toda reducción de la funcionalidad natural de la llanura de inundación incrementa la velocidad y erosión (peligrosidad) en crecida, tanto aguas abajo como en la margen opuesta o donde la crecida rompe la defensa.

Las llanuras de inundación también cuentan con obstáculos (vías de comunicación elevadas, edificios, acequias...) que alteran los procesos hidrogeomorfológicos de

desbordamiento e inundación y los flujos de crecida. Igualmente puede haber en el espacio inundable usos del suelo sobreelevados e impermeabilizados (terrenos de cultivo recercados hasta la cota de los diques, urbanizaciones, edificaciones, aparcamientos...) que también reducen esa funcionalidad natural de laminación de la inundación. Otra posibilidad más extrema es que la llanura de inundación haya quedado colgada muy por encima del cauce menor, por dragados o canalización, perdiendo así totalmente su función.



Reciente ocupación urbana de la llanura de inundación del río Ebro en Zaragoza. Imagen durante la crecida de junio de 2008. Foto: Alfredo Ollero.

Las consecuencias geomorfológicas de las pérdidas de funcionalidad de la llanura de inundación son muy variadas. La más relevante es la aceleración de procesos en el espacio no protegido, es decir, en el que mantiene la funcionalidad durante el evento de crecida e inundación, básicamente el cauce menor y la franja ribereña más próxima. Al reducirse el desbordamiento, la corriente en avenida circula con mayor energía, incrementando los procesos de erosión lineal y lateral. En la fase de laminación o descenso de caudal se produce en el cauce mayor sedimentación, tanto de gruesos como de finos, ya que la decantación sobre la llanura de inundación ha sido imposibilitada al evitarse el desbordamiento. En consecuencia, hay modificaciones en forma, granulometría y distribución de los depósitos sedimentarios tanto en el lecho como en las márgenes. En los puntos en los que haya cedido la defensa rompiéndose se originarán fuertes socavaciones por entrada brusca de agua en la llanura de inundación, así como pequeños abanicos de sedimentos caóticos. Este tipo de procesos puede registrarse también aguas abajo allí donde la corriente alcance un sector no defendido. La inundación será allí mayor, los procesos se acelerarán y pueden originarse importantes flujos de aguas desbordadas de elevada actividad geomorfológica.

2.2.4. Acciones directas sobre los cauces

Los efectos de las actuaciones directas en el cauce (canalizaciones, defensas, dragados, extracciones) son muy intensos localmente, con importantes repercusiones también aguas abajo que se manifiestan en el tiempo con bastante celeridad.

Existen abundantes alteraciones de la geomorfología del trazado en planta. Pueden ser actuaciones drásticas, como desvíos, cortas, relleno de cauces abandonados, simplificación de brazos, o más modestas, como retranqueo de márgenes o pequeñas rectificaciones. En algunos casos pueden ser cambios antiguos que el sistema fluvial ha sido capaz de renaturalizar por sí mismo parcialmente. La pérdida de naturalidad en el trazado de un cauce es una pérdida de patrimonio natural y de geodiversidad, mermando la dinámica fluvial y el buen estado ecológico.

Al alterar la forma del cauce con una actuación de ingeniería se modifican todos los procesos geomorfológicos en el tramo afectado y también aguas abajo. Generalmente se tiende a reducir la complejidad natural del trazado, transformando el cauce en un canal de desagüe. Ello implica incremento de la pendiente y de los procesos de incisión lineal en el fondo del lecho. Los sedimentos se evacuan con mayor facilidad aguas abajo por el centro del canal, pero pueden quedar colgados depósitos laterales. Pueden registrarse cambios importantes en la ubicación de la sucesión de resaltes y pozas. Si con estas canalizaciones se cortan meandros, éstos quedarán generalmente desconectados del nuevo cauce, registrándose también cambios notables en los procesos de inundación.

Se registran con frecuencia alteraciones en los procesos geomorfológicos longitudinales, a raíz de rupturas de continuidad en el sistema y de actuaciones directas sobre el fondo del lecho. Casi todos los sistemas fluviales cuentan con infraestructuras transversales al cauce (presas, azudes, puentes, vados y otros obstáculos menores) que rompen la continuidad del mismo, alterando su dinámica longitudinal y con ello la topografía del fondo del lecho, la sucesión de resaltes y remansos, la granulometría-morfometría de los materiales, los procesos geomorfológicos locales, los patrones de colonización vegetal, etc. Cada presa supone una ruptura de pendiente, del perfil longitudinal del río, que origina alteraciones tanto en los procesos, favoreciendo la incisión al pie de presa, como también en las formas.

Las represas suponen también el remanso del flujo y el ensanchamiento del cauce aguas arriba, facilitándose el desbordamiento en momentos de crecida. Los puentes y vados generan consecuencias en la dinámica fluvial similares aunque menos marcadas.

A esta problemática hay que añadir, por sus efectos en los mismos elementos y procesos, la originada por los dragados, extracciones, solados o limpiezas de vegetación en el propio cauce menor. Su incidencia es muy importante en la dinámica vertical, alterando los procesos naturales de acreción e incisión, la secuencia resaltes-pozas y los mecanismos de transporte por rodamiento y saltación, acelerando la velocidad del flujo y originando generalmente importantes problemas de incisión.



Actuación convencional en el río Manubles en Moros (dragado, limpieza de vegetación y colocación de escollera) implicando un notable deterioro del sistema fluvial. Foto: Noelia Sánchez.



Limpieza de vegetación en el río Martín en Ariño. Foto: Mattia Trabucchi.

El dragado supone la excavación en el propio lecho fluvial o en depósitos de grava laterales, así como eliminación de islas en el cauce, incluyendo la limpieza de la vegetación que las ha colonizado, todo ello con el fin de lograr mayor capacidad de desagüe. También se recortan superficies de gravas suavizando curvaturas. Debe considerarse siempre una medida temporal y no puede extraerse más de lo que aporta el río en sedimentos (Martín Vide, 2006). De hecho, un problema habitual en los dragados es la rapidez con que pueden llenarse de nuevo de acarreo las zonas dragadas, a raíz de cualquier crecida.

La extracción de áridos origina efectos geomorfológicos similares a los del dragado (Kondolf, 1997; Kondolf *et al.*, 2002). En muchos ríos se siguen registrando efectos geomorfológicos aun cuando ya hace décadas que concluyó la actividad. Son frecuentes los problemas de estabilidad en puentes y azudes por erosión remontante derivada de viejas extracciones aguas abajo.



Dragado del río Ebro en Zaragoza en el verano de 2007. Foto: Alfredo Ollero.



Resultado de dragados en el río Arba de Luesia en Rivas. Foto: Alfredo Ollero.

Son también muy abundantes las alteraciones geomorfológicas de las márgenes del cauce y de los procesos laterales por impactos directos. Los cauces canalizados o que cuentan con defensas que protegen sus márgenes erosivos encuentran encorsetada su dinámica lateral. Ese es el objetivo de canalizaciones y defensas de margen: estabilizar el cauce para poder utilizar sus orillas. Las canalizaciones totales suelen llevarse a cabo en tramos cortos y generalmente en ámbitos urbanos. Son más frecuentes en pequeños cursos de tamaño manejable. Sus efectos en el funcionamiento natural del sistema fluvial y en su dinámica geomorfológica son muy negativos. Los canales diseñados resuelven la evacuación del caudal líquido, pero técnicamente no son efectivos para el transporte sólido, alterándolo considerablemente. No siempre responden a situaciones de riesgo, sino más bien a las necesidades de urbanización y al propio gusto social por los canales estables e integrados en la malla urbana, con el aspecto de una calle en la que el tránsito hidrológico es solo uno de los usos.

Los escollerados se han extendido prolíficamente por todos los cauces europeos, uniformando y artificializando los paisajes fluviales. Además, edificios, vías de

comunicación, acequias y otras infraestructuras adosadas a las márgenes impiden también esta dinámica.



Canalización del río Herrera en Herrera de los Navarros. Foto: Daniel Ballarín.



Canalización del río Arba de Biel en Ejea de los Caballeros. Foto: Alfredo Ollero.



Canalización del río Sosa en Monzón. Además de levantar muros de protección se ha fijado el cauce menor con escollera hormigonada. Foto: Alfredo Ollero.



Respuesta del río Sosa a la canalización, incidiendo en el lecho y desmoronando el escollerao.
Fotos: José María Puig.



Escollera en la margen derecha del río Aragón en Milagro (Navarra). Foto: Alfredo Ollero.

En general, el constreñimiento de la dinámica lateral provoca incrementos en la longitudinal y vertical, con efectos de incisión. Sin embargo, en tramos fluviales con tendencia a la acreción o colmatación, se ha observado que esta tendencia suele acentuarse al ser constreñidos por las defensas, ya que la corriente tiende a sedimentar y se ve forzada a hacerlo en menor espacio, elevándose el cauce.



Escollera construida con bloques extraídos del propio cauce en el río Basa, afluente del Gállego, rodeando unos saucos naturales. Foto: Alfredo Ollero.



Otra escollera que aparentemente no protege ningún bien, acompañada de dragado del cauce en el río Guarga cerca de Arraso. Foto: Alfredo Ollero.

En suma, la fijación o estabilización de un cauce dinámico es una pérdida enorme de patrimonio natural. Sin embargo, tradicionalmente se ha considerado la erosión de márgenes un riesgo en los corredores aluviales, siempre como un problema aunque no hubiera bienes humanos amenazados. Ello se debe a que erosión es sinónimo de pérdida de terreno, y no se tiene en cuenta que lo que se pierde se gana en otro lugar (Piégay *et al.*, 1997). Recientemente se están reconsiderando estas ideas tradicionales, debido al carácter insostenible de muchas protecciones de margen, a los problemas que provocan, a sus importantes costes económicos y, por fin, a que se comienza a atender a los científicos que demuestran el papel positivo de la erosión de márgenes en la dinámica del sistema, en los ecosistemas, en el aporte de sedimentos y en la auto-restauración de los cauces (Bravard *et al.*, 1999).

2.2.5. Deterioro de las riberas

El deterioro de la continuidad, anchura, estructura, naturalidad y conectividad del corredor ribereño produce también efectos negativos sobre la geomorfología del cauce. El papel hidrogeomorfológico principal de la vegetación de ribera es la de filtro de los procesos fluviales, disminuyendo la velocidad de la corriente, favoreciendo la sedimentación diferencial y reforzando y estabilizando las orillas. Un corredor ribereño natural, continuo, ancho, bien estructurado en orlas y estratos y bien interconectado con el cauce y entre sus diferentes bandas o ambientes, ejerce una función de control fundamental en el sistema fluvial en su conjunto y en todos sus procesos geomorfológicos.

En general, la dinámica geomorfológica se acrecienta si se deteriora la vegetación ribereña (Adam *et al.*, 2007). Las aguas desbordadas penetran con mayor facilidad abriendo canales de crecida y generando depósitos de material grueso y escarpes dentro de los propios sotos. Si no hay vegetación los materiales finos se sedimentan con mayor

dificultad, incrementándose la turbidez de la corriente. Se aceleran los procesos de erosión en las orillas. El deterioro vegetal puede favorecer que troncos y ramas se incorporen a la corriente e intervengan en los procesos de sedimentación.



Ribera muy deteriorada en otro proceso de urbanización fluvial, el río Alhama en Alfaro. Foto: Alfredo Ollero.

2.3. Principios hidrogeomorfológicos en la restauración fluvial

Ante la problemática expuesta en el apartado anterior es necesario y urgente:

- Establecer sistemas de evaluación de la calidad hidrogeomorfológica, que debería contar con un gran peso específico dentro de la valoración global del estado ecológico.
- Frenar las actuales intervenciones tipo en los cauces (canalizaciones, escolleras, dragados...), que son las principales fuentes de deterioro de esa calidad hidrogeomorfológica.
- Sentar los principios básicos y los fundamentos metodológicos de una auténtica restauración hidrogeomorfológica fluvial que ha de ponerse en práctica con rapidez.
- Desarrollar programas de formación en hidrogeomorfología fluvial para técnicos y responsables y de educación ambiental en esta línea para el conjunto de la población.

Si se pretende restaurar un sistema fluvial es preciso recuperar su dinámica natural activa, y para ello hay una serie de requisitos imprescindibles:

- Caudales naturales, con fluctuaciones estacionales y procesos extremos.
- Crecidas, auténticos motores de dinámica
- Sedimentos que puedan movilizarse, generados tanto en la cuenca como en las propias vertientes con las que choca el cauce y en las propias orillas del mismo.

- Ausencia de defensas e infraestructuras que pudieran encorsetar al cauce o dificultar los procesos de erosión, transporte y sedimentación y las relaciones ecológicas.
- Presencia de vegetación natural complejamente estructurada que ejerza sus diversas funciones de filtro y controle la dinámica.
- Contar, en suma, con un espacio fluvial suficiente, un espacio continuo de arriba abajo para mantener las dinámicas naturales longitudinales y verticales y lo suficientemente ancho para cumplir la dinámica lateral y la conectividad.

En la situación actual, en muchos países europeos no parece existir voluntad política ni social para esa restauración de la dinámica fluvial, por lo que reducir las alteraciones geomorfológicas de los ríos es en la práctica imposible (Ollero, 2008). Es necesario y urgente un cambio profundo de mentalidad en relación con los ríos, porque, como señalaba Albert Einstein, “no podemos resolver los problemas pensando de la misma manera que cuando los creamos”.

2.4. Indicadores hidromorfológicos para la evaluación fluvial

En la evaluación fluvial hay un principio fundamental, el de **naturalidad**. Un río sin impactos antrópicos no necesita nada para contar con una dinámica natural activa, ya la tiene sin ninguna duda. En suma, se trata de evaluar si el sistema fluvial presenta naturalidad hidrogeomorfológica o bien la ha perdido por diferentes causas antrópicas.

La Directiva 2000/60/CE ha simplificado excesivamente los indicadores hidromorfológicos, además de subordinarlos a los biológicos, careciendo de propuestas metodológicas claras y suficientemente desarrolladas.

En la práctica, tanto la hidrología como la geomorfología fluvial ofrecen suficientes técnicas de análisis como para evaluar con máximo detalle y fiabilidad la calidad hidromorfológica fluvial, es decir, para valorar en qué estado de naturalidad hidromorfológica se encuentran nuestros ríos.

2.4.1. Indicadores básicos

Para evaluar el grado de naturalidad de un sistema fluvial es recomendable observar y analizar un conjunto de 6 indicadores básicos:

- a) **Caudales geomórficos**. Un sistema fluvial debe contar con un funcionamiento hidrológico natural que incluya procesos extremos. Las crecidas ordinarias, de frecuencia relativamente elevada, constituyen los caudales geomórficos que diseñan la propia geomorfología del cauce y de las orillas. Es muy importante evaluar si

- estas crecidas se siguen registrando, ya que si no es así habrá cambios en la morfología fluvial y en todos los procesos longitudinales, transversales y verticales.
- b) **Estilo fluvial o geomorfología básica del cauce.** Hay que comprobar si la forma en planta del cauce es la adecuada a las condiciones generales del sistema (cuenca, valle, pendiente, sedimentos) y la que presentaba el curso fluvial a lo largo de su historia. Como consecuencia de las presiones humanas es muy frecuente observar en muchos ríos cambios importantes en su estilo fluvial, a lo largo de un proceso lento pero progresivo y evidente a lo largo de las últimas décadas.
- c) **Continuidad longitudinal del sistema.** Un curso fluvial natural sin barreras antrópicas cuenta con una continuidad longitudinal de arriba abajo, desde su nacimiento hasta su desembocadura, fundamental para el correcto funcionamiento del sistema y para el buen estado de todos los ecosistemas asociados.
- d) **Conectividad transversal y vertical del sistema.** El curso fluvial superficial debe estar conectado de forma natural con el corredor ribereño y el resto de la llanura de inundación (conectividad transversal), así como con la zona hiporreica y con el freático (conectividad vertical).
- e) **Dinámica espacio-temporal del sistema.** Es el resultado de todo lo anterior: si el sistema fluvial funciona con naturalidad, presenta caudales fluctuantes y generadores, cuenta con un estilo geomorfológico acorde a sus caracteres y mantiene sin rupturas su continuidad y sus conectividades, contará sin duda con una dinámica hidrogeomorfológica fluvial correcta. Esta dinámica se manifiesta en forma de capacidad de cambio tanto en la componente espacial (diferencias entre tramos con interacciones entre unos y otros, principalmente de arriba a abajo) como en la temporal (cambios en el tiempo, ajustes a cada evento de crecida, evolución de formas, etc.). Un sistema fluvial con estas dinámicas naturales es un sistema natural sano, en buen estado.
- f) **Vegetación.** Es un indicador especial muy útil en la evaluación. Se comporta como el principal freno de la dinámica fluvial, que será el resultado de la interacción de los caudales (acelerador) con los elementos que estabilizan. De forma natural la colonización vegetal puede aprovechar un periodo de tiempo prolongado sin crecidas relevantes para estabilizar los depósitos sedimentarios fluviales, consolidando orillas y riberas. Pero una vegetación excesivamente desarrollada puede ser síntoma de regulación hídrica o de falta de renovación en los sedimentos. De ahí que la vegetación sea en algunos casos un indicador negativo de la salud fluvial. Simplificando mucho, la vegetación suele ser un indicador positivo si se desarrolla en las riberas, por cuanto indica proximidad del freático y buena conectividad, pero puede ser negativo si es abundante y madura en el propio cauce, islas y orillas, implicando déficit de crecidas y dificultades en la movilización sedimentaria.

2.4.2. Presiones e impactos

No son indicadores, sino los factores del deterioro fluvial. Su conocimiento es clave para evaluar, por lo que conviene que se analicen con detalle, teniendo en cuenta que en ocasiones sus efectos no son todavía observables en los indicadores anteriores, pero con el tiempo se manifestarán.




En el ámbito científico la diferencia entre presión e impacto suele referirse a una cuestión de escala. Así, la presión es una acción humana en la cuenca que indirectamente puede afectar al funcionamiento del sistema fluvial, mientras el impacto es una acción directa sobre el sistema, alterando su hidrología y su geomorfología.

En el ámbito de la Directiva 2000/60/CE, sin embargo, presión es la actividad o acción antrópica que puede repercutir sobre el estado de las masas de agua estudiadas, mientras impacto es la medida o intensidad de la alteración o afectación. Es decir, las presiones pueden generar más o menos impacto, y en función de ello resulta un riesgo de incumplimiento de los objetivos ambientales.

En el índice IHG se utilizan los dos conceptos, presiones e impactos, tratando de compaginar las dos maneras de definirlos, precisamente con el fin de que sea útil tanto en estudios científicos como en análisis técnicos. El inventario exhaustivo de presiones e impactos sobre cada masa de agua o tramo fluvial a estudio es fundamental para poder alcanzar una valoración con el IHG, de manera que la mayor parte del trabajo de documentación y de campo se destinará a esa búsqueda pormenorizada de presiones e impactos y a su análisis de detalle, determinando el grado de deterioro que implican. En la siguiente tabla se exponen las presiones consideradas en la aplicación del índice y se especifica sobre qué parámetros de evaluación (los nueve parámetros del índice IHG que se explicarán más adelante) inciden, diferenciando en función de la intensidad de impacto.



*Corredor ribereño maduro y extenso en el que observan síntomas de incisión en el cauce y árboles puntisecos, como consecuencia de embalses aguas arriba. Río Aragón en Mérida.
Foto: Alfredo Ollero.*

-  impacto directo e intenso
-  impacto indirecto moderado
-  impacto indirecto leve

	calidad funcional			calidad cauce			calidad riberas		
	Naturalidad del régimen de caudal	Disponibilidad y movilidad de sedimentos	Funcionalidad de la llanura de inundación	Naturalidad del trazado y de la morfología en planta	Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales	Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral	Continuidad longitudinal de las riberas	Anchura del corredor ribereño	Estructura, naturalidad y conectividad transversal
usos suelo cuenca									
presas y embalses									
derivaciones, detracciones									
vertidos, retornos									
trasvases									
urbanización cuenca									
incendios cuenca									
re poblaciones cuenca									
aterrazamientos									
vías de comunicación valle									
retenciones de vertiente									
azudes									
diques o motas									
defensas de margen									
edificios en zona inundable									
acequias									
usos del suelo zona inundable									
dragados									
canalización									
relleno cauces abandonados									
simplificación de brazos									
desvíos, cortas de meandro									
rectificación de márgenes									
puentes									
vados									
extracciones de áridos									
solados									
limpiezas de vegetación									
tuberías enterradas									
escombros en márgenes									
naves, granjas en ribera									
cultivos, choperas en ribera									
zonas taladas en ribera									
pistas, caminos en ribera									
pastoreo en ribera									
desbroces en ribera									
incendios en ribera									
recogida de madera en ribera									
basuras en ribera									
uso recreativo en ribera									
explotación del acuífero									



Río Aragón en Astún. Foto: Alfredo Ollero.



Río Gállego en Formigal. Foto: Alfredo Ollero.

2.4.3. Indicadores de detalle

Hay parámetros geomorfológicos muy utilizados en estudios científicos fluviales, no solo para evaluar el funcionamiento del río o barranco, sino también para caracterizarlo y compararlo con otros casos. Son indicadores que conllevan mediciones y procesos de interpretación para los que se necesita una sólida base de formación en hidrología y geomorfología fluviales. Por tanto, pueden emplearse como indicadores de detalle del correcto funcionamiento del sistema y ayudan principalmente a comparar situaciones y a matizar valoraciones. Pueden destacarse los siguientes:

- a) **Perfil longitudinal del curso fluvial.** Puede presentar discontinuidades y cambios que respondan a impactos o a procesos de ajuste causados por presiones.
- b) **Procesos de acreción e incisión.** Se trata de comprobar localmente o a escala de tramo si el curso fluvial está elevándose en sus propios sedimentos o bien se está encajando por excavación del fondo del lecho (erosión lineal y remontante). Estos procesos son normales en los ríos, aunque en condiciones naturales suelen ser muy lentos, por lo que hay que atender a casos en los que

destaque una posiblemente anómala aceleración. La medición de estos parámetros es problemática, por cuanto exige puntos de referencia tomados en el pasado. Pero son síntomas fundamentales del estado del sistema y de sus tendencias geomorfológicas, por lo que es necesario observar con detalle en campo para identificar estos procesos e interpretar sus causas.

- c) **Morfologías de detalle en cauce y orillas.** Un buen análisis geomorfológico de cómo son el cauce, las orillas, los brazos, barras de sedimentos, escarpes y otras microtopografías, ofrece mucha información sobre el estado del sistema fluvial. Es fundamental conocer cómo son ahora y cómo fueron en el pasado.
- d) **Sección transversal del cauce.** De forma complementaria al punto anterior, para comprobar y poder comparar, suele ser útil el análisis de al menos una sección transversal que sea representativa del tramo o masa de agua en evaluación.



*Mediciones del cauce en el curso alto del río Oria (Guipúzcoa).
Foto: Elena Díaz Bea.*

- e) **Potencia específica de la corriente fluvial.** Es un indicador de la capacidad o competencia del sistema para ejercer su trabajo de transporte, permitiendo comparar la energía de cursos o tramos de dimensiones diferentes. Se calcula en wátios/m² de acuerdo con la fórmula $\omega = (g Q_b S) / w$, siendo Q_b el caudal bankfull o en cauce lleno (m³/s), S la pendiente del cauce (m/m) y w la anchura en cauce lleno (m). La potencia específica varía al fluctuar el caudal. Sus valores más altos suelen registrarse en el curso alto-medio, donde el caudal ya se ha ido incrementando y la pendiente del cauce se mantiene relativamente elevada. Su cálculo permite predecir la capacidad de transporte a lo largo de una crecida, así como la tendencia a la acreción o a la incisión en un determinado sector o la capacidad de erosión de las márgenes. Del mismo modo, sirve como indicador para advertir las consecuencias geomorfológicas de una determinada actuación.
- f) **Granulometría y morfometría de sedimentos.** En la misma línea que el parámetro anterior, hay que comprobar si los sedimentos del cauce y las orillas presentan un tamaño y una forma acorde con los caracteres del sistema fluvial, o bien sus valores medios son anómalos, en cuyo caso hay que analizar la posible

causa antrópica que los ha perturbado. La toma de datos en campo es laboriosa, debiendo realizarse en varios puntos del lecho y de las barras sedimentarias. De ahí que en la evaluación sólo se recomiende en casos de duda o estudios de detalle.

g) **Movilidad de sedimentos.** Se comprueba también en campo y complementa los análisis anteriores. Hay técnicas complejas de marcaje y seguimiento, pero para la evaluación es suficiente con la observación directa, comprobando si hay coraza superficial y en qué medida ésta puede haberse acrecentado por factores humanos. El cubrimiento de los cantos y gravas por material fino o algas puede ser también un síntoma de funcionamiento fluvial perturbado antrópicamente.



Cauce en situación de bankfull, el Río Furelos en la provincia de Lugo. Foto: Horacio García.

2.5. Antecedentes en la evaluación hidromorfológica

A lo largo de los últimos 15 años se han desarrollado diferentes protocolos de evaluación hidromorfológica fluvial, tanto simples y directos como, en la mayoría de los casos, integrados en planes de seguimiento más complejos.

El *Bureau of Land Management* estadounidense creó un método para definir si un espacio fluvial funciona adecuadamente en cuanto a su hidrología, caracteres geomorfológicos, vegetación y suelos. A la propuesta se denominó “*proper functioning condition, PFC*” (Prichard *et al.*, 1993, rev. 1995; Moseley, 1999). Ante la PFC los espacios fluviales pueden: a) cumplir la condición, es decir, funcionar adecuadamente, lo cual tiene lugar cuando las riberas disipan la energía de los flujos de crecida reduciendo los procesos de erosión, filtran y capturan sedimentos y ayudan al desarrollo del llano de inundación, retienen y laminan las aguas de crecida y almacenan agua subterránea, estabilizan las orillas, mejoran los hábitats y favorecen el mantenimiento de agua circulante con la temperatura estival apropiada para las comunidades piscícolas, etc.; b) cumplir con riesgo, con ciertas condiciones edáficas, hidrológicas o geomorfológicas susceptibles de degradación; c) no cumplir las funciones citadas por deterioro de la vegetación, alteración o limitación de los componentes hidromorfológicos. Otra iniciativa

pionera de valoración partió del *U.S. Army Corps of Engineers* con el modelo “*Hydrogeomorphology*” (HGM), evaluación hidrogeomórfica de las funciones de humedales, con especial atención a los ribereños (Brinson *et al.*, 1995). Esta metodología se ha aplicado a diferentes territorios, actualizándose más recientemente (Smith y Wakeley, 2002; Hauer *et al.*, 2002).

En muchos otros países han ido apareciendo planes de ordenación, programas de conservación y restauración y normativas diversas que afectan a cauces y riberas. Algunas cuentan con índices de valoración hidromorfológica o, más habitualmente, con índices ecológicos que valoran también algunos parámetros hidromorfológicos.

El *River Habitat Survey* (RHS), que se desarrolla en el Reino Unido desde 1993, se aplica a tramos de 500 m de longitud, donde se efectúan 10 secciones en las que se realizan observaciones del sustrato, flujo, caracteres de erosión y sedimentación en el cauce, estructura morfológica y de vegetación en las orillas, así como usos del suelo en el corredor ribereño (Raven *et al.*, 1998). La calidad del hábitat es evaluada usando un sistema de puntuaciones sobre los elementos que favorecen el desarrollo ribereño. Posteriormente, se pueden comparar las calidades de los hábitats a través de análisis de proximidad (“*nearest neighbour*”) (Raven *et al.*, 2002). Las opiniones de los expertos y la comparación entre casos y con modelos de referencia es la fase final del proceso de evaluación de la calidad del hábitat. Este índice se ha aplicado también en Italia (Buffagni y Kemp, 2002). Se ha desarrollado un módulo geomorfológico adicional al RHS, llamado GeoRHS (Environment Agency, 2003). En Escocia cabe destacar otra iniciativa también veterana, el SERCON (*System for Evaluating Rivers for Conservation*), aplicado por Boon *et al.* (1998) a diferentes ríos británicos.

El sistema alemán (LAWA, 2000) es aplicable a cursos medianos y pequeños, realizándose evaluaciones cada 200 ó 400 m de longitud, en función de las dimensiones del curso fluvial. La calidad estructural se establece a partir del análisis de 25 atributos, cada uno de los cuales cuenta con 5 opciones valoradas por expertos. Los atributos se estructuran en seis grupos: morfología del curso, perfil longitudinal, estructura del lecho, perfil transversal, estructura de la orilla y ribera. La escala de valoración es de 1 a 7, calibrándose a partir de las condiciones estrictamente prístinas. Este sistema fue adaptado y mejorado por Fleischhacker y Kern (2002), que establecen el “estado ecomorfológico”, aplicable a ríos navegables.

El sistema de evaluación francés se estructura en tres secciones dedicadas a la calidad físico-química del agua, al análisis de los seres vivos y al estado del lecho, orillas y cauce mayor. Esta última, la *SEQ-Physique* (Agences de l’Eau y Ministère de l’Environnement, 1998), parte de la tramificación de los cursos fluviales, continúa con el análisis en el campo y finaliza con el cálculo de índices de calidad en porcentaje sobre una situación ideal. Tartar (2001) señala algunas limitaciones: no sirve para tramos muy

antropizados, la sectorialización es dificultosa y resulta imposible definir con precisión un estado de referencia que es básico para el cálculo final.

En suma, los sistemas inglés, francés y alemán, comparados en un trabajo de Raven *et al.* (2002), valoran caracteres hidromorfológicos muy similares, que pueden resumirse en el siguiente listado: geometría del cauce, perfil longitudinal, perfil transversal, sustrato, vegetación del cauce y restos orgánicos, caracteres de erosión y sedimentación, caracteres del flujo, régimen de caudal, continuidad longitudinal, estructura de las orillas, vegetación ribereña, usos del suelo adyacentes, grado de dinámica lateral y de conectividad del río con el llano de inundación.

Muhar *et al.* (2004) proponen en Austria los siguientes criterios para la evaluación del estado hidromorfológico: tipo morfológico de río, morfodinámicas, relación cauce-ribera-zona inundable, ocurrencia y extensión de tipos de hábitat, régimen hidrológico, condiciones de flujo, continuidad longitudinal y conectividad lateral. Cada uno de ellos se puntúa de 1 a 5, obteniéndose una media.

En Eslovenia se ha llevado a cabo una experiencia en el río Dragonja, sobre el que se han medido u observado más de un centenar de variables hidrogeomorfológicas (Bizjak y Mikoš, 2004) en relación con el tipo de cauce, el perfil longitudinal, la sección transversal y las áreas ribereñas. Los resultados califican los tramos en: 1 cursos naturales, 2 algo alterados, 3 moderadamente alterados, 4 alterados, 5 bastante alterados, 6 fuertemente alterados y 7 completamente alterados.

El índice de funcionalidad fluvial italiano (Siligardi, coord., 2003) atiende esencialmente a criterios ligados a la vegetación y se sitúa en una perspectiva ecológica, ya que se basa en la aplicación y posterior modificación del RCE *-Riparian, Channel and Environmental Inventory-* (Petersen, 1992; Siligardi e Maiolini, 1993). Incluye también como criterios algunos relacionados con aspectos hidromorfológicos: configuración de la ribera, actividad erosiva, grado de naturalidad de la sección transversal, diversidad y estabilidad del fondo del cauce, sucesión de pozas, rápidos y meandros.

Otros índices europeos interesantes son el *Danish Stream Habitat Index* (Pedersen y Baattrup-Pedersen, 2003) o el método eslovaco, que adapta el índice alemán dando mayor peso a la geomorfología fluvial (Lehotský y Grešková, 2004).

En Estados Unidos hay varios sistemas de reconocimiento y evaluación de campo de la funcionalidad de sistemas fluviales. El *Qualitative Habitat Evaluation Index* (QHEI) evalúa el hábitat piscícola sin atención a la geomorfología (Rankin, 1991, 1995). Otro sistema muy empleado es el *Stream Corridor Assessment* (SCA), que se utiliza para valorar el estado físico general del sistema fluvial e indicar sus problemas y posibilidades de restauración. Analiza, junto a parámetros biológicos, indicadores como la incisión, la deposición de

sedimentos, la velocidad de la corriente en relación con su profundidad, la protección vegetal de las orillas o la anchura del bosque de ribera. No es una herramienta científica, sino que se desarrolla por voluntarios entrenados (Yetman, 2001). El *Rapid Geomorphic Assessment* (RGA) forma parte de un programa de valoración fluvial más amplio (*Rapid Stream Assessment Technique*) y proporciona un método de descripción de los procesos de ajuste (en anchura y profundidad, forma en planta y perfil longitudinal) actuales, naturales y/o antrópicos, que se dan en un tramo, determinando su grado de evolución histórica y su tasa de sensibilidad ante posibles cambios en el futuro (Kline *et al.*, 2003). Para determinar esa sensibilidad se utiliza un protocolo de campo que valora la erosividad de los materiales cercanos al cauce, el régimen de sedimentos y de caudal, el encajamiento y pendiente del valle y el grado de desviación respecto al estado de referencia. También se ha empleado mucho por las agencias gubernamentales la metodología de Rosgen (1996) que, apoyada en su clasificación de cursos fluviales (Rosgen, 1994), aporta procesos de evaluación y propuestas de restauración.

Uno de los índices más veteranos e interesantes es el ISC, *Index of Stream Condition* (Ladson *et al.*, 1996; White y Ladson, 1999), que se integra en el programa AusRivAS - *Australian River Assessment System*- (Parsons *et al.*, 2002). Evalúan numerosos caracteres de la corriente fluvial y de su entorno, observando indicadores de cambios graduales o tendencias y también de cambios repentinos e impactos. Los indicadores se estructuran en cinco grupos: hidrológicos, morfológicos, de riberas, de calidad y de vida acuática. El índice está enfocado a evaluar la diferencia entre el estado actual y lo que podría ser bajo condiciones naturales. En Australia hay otras iniciativas paralelas de notable interés, como el *State of the Rivers Survey* (Anderson, 1993), el *Habitat Predictive Modelling* (Davies *et al.*, 2000), el *Rapid Appraisal of Riparian Condition* (Jansen *et al.*, 2005) o el *River Styles Framework* (Brierley y Fryirs, 2005). Este último constituye una metodología de caracterización geomorfológica muy completa con parámetros de valoración que se centran tanto en la evolución (capacidad de cambio, situaciones irreversibles) como en la condición geomórfica a escala de cuenca y de cauce, resultando de gran utilidad para establecer programas de restauración.

En Sudáfrica, Rowntree y Ziervogel (1999) han desarrollado una clasificación de la estabilidad del cauce y de su estado a dos escalas de trabajo: una global que define las pautas generales del comportamiento fluvial y otra de detalle donde se analizan los cursos fluviales en el campo a través de un gran número de indicadores geomorfológicos.

En España se han implantado índices de calidad de espacios ribereños. El más veterano y utilizado es el QBR -*Qualitat del Bosc de Ribera*- (Munné *et al.*, 1998), destacando por su facilidad de aplicación. Valora cuatro parámetros (cada uno de ellos hasta 25 puntos): el grado de cubierta de la zona de ribera, la estructura o madurez de la cubierta vegetal, la calidad de la cubierta y el grado de naturalidad del canal fluvial. Se determina una

tipología geomorfológica, en función del tipo de orilla, de la existencia de islas y de la presencia de sustrato duro, que interviene en la valoración de la calidad de la cubierta.

El Índice de Hábitat Fluvial IHF (Pardo *et al.*, 2002) resulta de la intercalibración de protocolos de trabajo de campo, laboratorio y uso de varios índices aplicables a los ríos de la vertiente mediterránea peninsular y Baleares (Bonada *et al.*, 2002). Los bloques de análisis en la ficha de trabajo son: distribución de rápidos-pozas, frecuencia de rápidos, composición del sustrato, regímenes de velocidad-profundidad, porcentaje de sombra en el cauce, elementos de heterogeneidad y cobertura de vegetación acuática. Como corresponde a un índice para hábitats, no se valoran los aspectos hidromorfológicos por sí mismos, sino por su calidad para las poblaciones de seres vivos.

La Agència Catalana de l'Aigua ha desarrollado el protocolo HIDRI para la valoración de la calidad hidromorfológica de los ríos (Munné *et al.*, dirs., 2006), incluyendo el QBR y el IHF. En concreto, reúne ocho protocolos sucesivos que llevan a la determinación final de un nivel de calidad. Se inicia con la observación de parámetros de caracterización morfológica, a continuación se aplica el IHF, se evalúa el cumplimiento de caudales de mantenimiento, se aplica un índice de conectividad fluvial (ICF), se valoran el nivel de encauzamiento y la naturalidad de los usos del suelo de las riberas y por último se aplica el QBR y otro índice más específico de vegetación fluvial (IVF).

García de Jalón y González del Tánago (2005) han elaborado una metodología de evaluación ecológica que ha llevado al índice RQI, de calidad de las riberas (González del Tánago *et al.*, 2006). Esta metodología valora la estructura y dinámica de las riberas fluviales con base hidrológica y geomorfológica. Se consideran siete atributos de fácil reconocimiento visual: la continuidad longitudinal de la vegetación leñosa, las dimensiones en anchura del espacio ripario ocupado por vegetación asociada al río, la composición y estructura de la vegetación ribereña, la regeneración natural de las principales especies leñosas, la condición de las orillas, la conectividad transversal del cauce con sus riberas y llanura de inundación y la conectividad vertical a través de la permeabilidad y el grado de alteración de los materiales y relieve de los suelos riparios. La valoración de cada atributo se lleva a cabo atendiendo a las condiciones de referencia de cada tramo fluvial según su tipología, relativa al régimen hidrológico, características geomorfológicas del valle y cauce y región biogeográfica en que se ubica. El RQI resulta un índice de fácil aplicación, mediante fichas de observación, y muy útil para la evaluación de problemas y de actuaciones en cauces y riberas.

En Aragón y la cuenca del Ebro se ha trabajado en varios proyectos en los que se ha desarrollado una metodología de tramificación (Ollero *et al.*, 2003; Díaz Bea y Ollero, 2005), caracterización y valoración (Ballarín *et al.*, 2006; Ollero *et al.*, 2006) de cursos fluviales. Los diferentes indicadores hidrogeomorfológicos empleados y los problemas de aplicación de algunos de ellos están en la base del diseño del índice IHG.

3. EL ÍNDICE IHG

3.1. Objetivos, utilidad y condicionantes

La valoración de un sistema fluvial puede abordarse desde diferentes puntos de vista. El objetivo de la evaluación puede ser la determinación del estado ecológico, la definición de medidas de restauración o rehabilitación, la conservación de corredores ribereños, la ordenación del territorio, la gestión sostenible del agua, la zonificación en función del grado de riesgo, etc. Cuando se diseña un índice de valoración se intenta que sea útil para cualquiera de los objetivos expuestos, o para todos ellos en conjunto.

Más allá de la coyuntural aplicación de la Directiva 2000/60/CE, los objetivos prioritarios del índice IHG de valoración hidrogeomorfológica de sistemas fluviales son, de acuerdo con sus autores (Ollero *et al.*, 2007, 2008), solucionar o reducir los problemas ambientales de los sistemas fluviales para mejorar y conservar su funcionalidad y naturalidad, así como reivindicar sus valores hidrogeomorfológicos, aspecto éste que no suele ser tenido en cuenta en otros índices.

El índice IHG se basa en el hecho de que todas las presiones e impactos humanos sobre el sistema fluvial, sean directos sobre el cauce o indirectos sobre cuencas y vertientes o diferidos en el tiempo, cuentan con una respuesta en el funcionamiento hidrológico y geomorfológico del sistema y en sus propias morfologías de cauce y riberas. El hecho de que el índice IHG se base en un trabajo de búsqueda o identificación de presiones e impactos puede hacerlo muy útil en la aplicación de la Directiva 2000/60/CE (Danés, coord., 2005), en la planificación y en la restauración fluvial.

Todas las iniciativas de valoración de sistemas fluviales cuentan con condicionantes como la escala de trabajo, la financiación económica, la información previa disponible, la subjetividad de los evaluadores, el sesgo profesional de éstos o de los diseñadores del índice correspondiente, las experiencias previas en la aplicación de otros índices, la dificultad de encontrar modelos de referencia, etc. Además, la utilización de índices importados o alóctonos, probados en determinados ríos, puede resultar un fracaso en otra área de estudio. Así, por ejemplo, muchos de los indicadores que establece la Directiva 2000/60/CE son difíciles de evaluar en el ámbito mediterráneo, o requieren importantes matizaciones.

Cada autor o equipo de trabajo crea su propio índice, al no estar del todo en acuerdo con cualquier otro sistema de valoración. Con ello, nos alejamos de la posibilidad de contar con un índice universal aceptado por todos. Dicho índice resulta imposible y, por otro lado, la diversidad de índices enriquece el debate científico y no entorpece la

aplicación técnica, que debe esforzarse por encontrar el índice más adecuado a las condiciones del área de estudio y a los objetivos de trabajo.

El índice IHG está condicionado también por los aspectos señalados más arriba. Precisamente esos condicionantes son los que han llevado a la elaboración de un nuevo índice, un índice que ha tratado de recoger la mayoría de los parámetros evaluados en los antecedentes expuestos, pero que trata también de diferenciarse de todos ellos, de mejorarlos, completarlos o simplificarlos.

3.2. Fundamentos metodológicos

La aplicación del índice IHG requiere la participación de expertos en dinámica fluvial que sean capaces de distinguir en campo y en fotografía aérea presiones e impactos sobre el sistema fluvial que puedan alejar la funcionalidad, continuidad, naturalidad, complejidad y dinámica del mismo respecto del estado de referencia.

3.2.1. La delimitación de tramos o sectores funcionales

Antes de aplicar el índice es necesario dividir el sistema fluvial en tramos o sectores, de manera que el índice se obtendrá para cada uno de ellos. Esta tramificación o segmentación del curso fluvial es una tarea fundamental y de alta responsabilidad para el resultado del trabajo. Puede tratarse de una tramificación predeterminada, como las masas de agua establecidas en cada país europeo a raíz de la implementación de la Directiva 2000/60/CE.

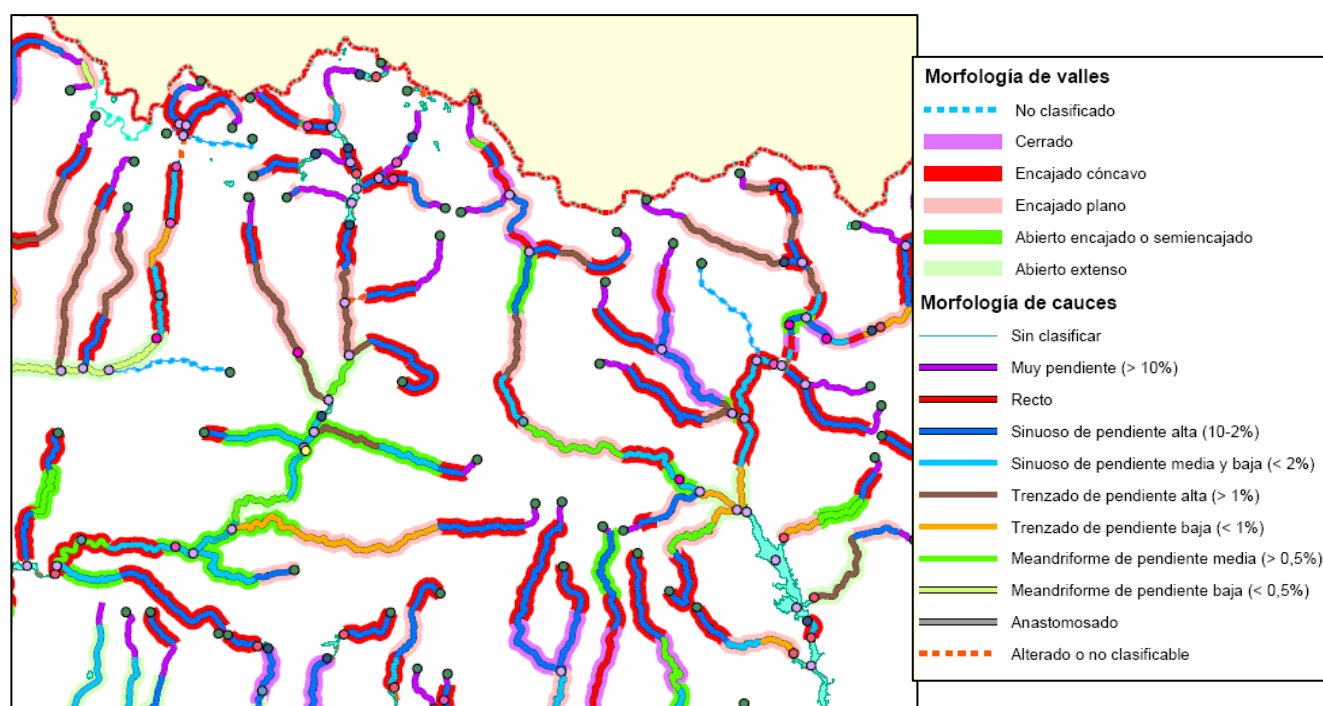
Pero en ocasiones, y esto sería siempre lo deseable, es el propio equipo evaluador con el IHG el que debe realizar la tramificación previa. En tal caso, hay que dividir el curso fluvial en tramos, o “sectores funcionales” si se sigue la terminología de Bravard y Gilvear (1993), que sean internamente homogéneos pero diferentes entre sí. El criterio de diferenciación o separación entre tramos ha de ser hidrogeomorfológico, para que haya coherencia con el índice. Así, habría un cambio de tramo en cada punto en el que se observe un cambio geomorfológico en las características del valle y/o del cauce, siguiendo por ejemplo la metodología de clasificación de Díaz Bea y Ollero (2005), o bien allí donde haya un cambio notable en el caudal circulante (llegada de un afluente importante, una presa de derivación, un retorno o descarga de una central eléctrica, etc.).

Cuanto más pequeños sean los tramos o sectores, es decir, cuanto mayor sea el detalle en la escala de trabajo, más correcta será la evaluación. La escala de observación ideal para la aplicación del IHG son tramos inferiores al kilómetro de longitud, pero el índice es aplicable a sectores más largos. El nivel de detalle exigido por los objetivos del estudio o el propio presupuesto del mismo condicionarán las dimensiones de los tramos.

Teniendo en cuenta estos condicionantes se realizará un análisis hidrogeomorfológico más o menos detallado para marcar las separaciones entre tramos.

Por ejemplo, el Ebro medio es geomorfológicamente homogéneo desde Logroño hasta La Zaida, a lo largo de 350 km de cauce, por lo que podría definirse como un único tramo. Si se introduce también el factor hidrológico, podría establecerse una división en Castejón por la afluencia del complejo Aragón-Arga y otra en Zaragoza por la llegada del Gállego, resultando así tres tramos: Logroño-Castejón, Castejón-Zaragoza y Zaragoza-La Zaida. Si se necesita mayor nivel de detalle pueden establecerse cambios de tramo en zonas donde se modifica localmente la anchura media de la llanura de inundación, o donde cambia la forma y sinuosidad de los meandros, o en puntos de confluencia de otros afluentes menores como el Ega, el Arba o el Jalón.

En la siguiente figura se presenta un ejemplo de tramificación en la red fluvial del Pirineo Central, realizado con la metodología de Díaz y Ollero (2005) para la tipificación hidromorfológica de la cuenca del Ebro (Confederación Hidrográfica del Ebro, documento descargable en <http://oph.chebro.es/CapasGISDMA.htm>).



En determinados estudios sería también posible tramificar en tramos de longitud regular, sin tener en cuenta ningún criterio hidrogeomorfológico. Se trataría, por ejemplo, de establecer tramos de exactamente 500 m, o de 100 m, y evaluar cada uno de ellos. Esto puede ser útil en estudios de detalle sobre tramos de río muy cortos, como por ejemplo en ámbitos urbanos.

3.2.2. Fotografías aéreas, cartografía y documentación

Una vez tramificada el área de estudio puede ya procederse a la aplicación del índice. Es conveniente para ello reunir con carácter previo toda la información posible sobre toda la cuenca, el conjunto del curso fluvial y cada uno de sus tramos. Se trata fundamentalmente de documentación hidrológica y sobre infraestructuras, fotografías aéreas recientes y antiguas y cartografías topográficas del mayor detalle posible.

El uso de fotografías aéreas antiguas, con el apoyo de cartografía y documentación, permite también aplicar el índice IHG a situaciones pretéritas, lo cual resulta de gran utilidad para evaluar procesos de cambio y comparar niveles de deterioro.

En la siguiente tabla se recogen todas las tareas de gabinete que han de llevarse a cabo en la aplicación del índice IHG.

tareas:	fotos aéreas	cartografía	documentación	todas	parámetro que se evalúa
Análisis de datos de caudal, régimen, naturalización de series					Naturalidad del régimen de caudal
Documentación y localización de embalses, derivaciones, centrales hidroeléctricas, acequias, trasvases, etc.					
Análisis de la cuenca con fotografías aéreas					Disponibilidad y movilidad de sedimentos
Localización de todas las presas aguas arriba					
Caracterización de cuenca y afluentes					
Localización de dragados y extracciones ejecutados en el tramo					
Localización de vías de comunicación e infraestructuras que puedan desconectar vertientes y cauces					Funcionalidad de la llanura de inundación
Inventario de elementos antrópicos en zona inundable					
Documentación y medición de obras de defensa y trabajos en el cauce					
Identificación de superficies impermeabilizadas					Naturalidad del trazado y de la morfología en planta
Identificación de cambios de trazado en fotos aéreas y mapas antiguos					
Inventario de actuaciones aguas arriba					
Inventario y medición de actuaciones en el cauce					
Inventario de infraestructuras transversales en el tramo					Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales
Documentación sobre localización y dimensiones de dragados, extracciones, solados y limpiezas					
Realizar el perfil longitudinal del curso fluvial					
Comparación documental de topografía actual con registros anteriores					Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral
Inventario y medición de elementos antrópicos en las orillas del cauce					
Consulta de proyectos de defensa de margen o canalización					Continuidad longitudinal de las riberas
Comprobación en fotos aéreas antiguas del dinamismo lateral natural					
Inventario y delimitación de todos los elementos antrópicos que rompen la continuidad en cada margen y medición de discontinuidades					Anchura del corredor ribereño
Identificación de la anchura máxima en fotos aéreas y mapas antiguos					
Evaluación de la anchura actual y comparación					Estructura, naturalidad y conectividad transversal del corredor ribereño
Consulta bibliográfica sobre las especies de vegetación					
Consulta de posibles proyectos de repoblación y revegetación					
Identificación del estado general y estratificación de la vegetación					
Inventario y medición de rupturas de la conectividad transversal					

3.2.3. Trabajo de campo

El reconocimiento de campo del tramo a evaluar es imprescindible y debe realizarse con posterioridad al proceso de documentación e información, para que los evaluadores lleguen al terreno con el conocimiento más completo posible del mismo. Los trabajos de campo que se requieren para aplicar el índice se sintetizan en la siguiente tabla, en la que se diferencian las tareas de observación cualitativa y las que implican mediciones.

tareas:	observaciones	mediciones	parámetro
Búsqueda de síntomas de sequía en la vegetación			Naturalidad del régimen de caudal
Comprobar si el cauce se ha ido simplificando o estrechando			
Comprobar si hay síntomas de incisión lineal			
Comprobar si hay más vegetación de ribera que en el pasado			Disponibilidad y movilidad de sedimentos
Verificar la movilidad de sedimentos			
Comprobar si se han producido dragados o extracciones en el cauce			
Análisis granulométrico y morfométrico de sedimentos			
Comprobar qué sedimento y con qué caudales puede superar las presas			
Identificar procesos de acorazamiento o de cubrimiento de finos			
Reconocimiento de la línea de conexión vertientes-fondo de valle y de las distintas confluencias de barrancos laterales			Funcionalidad de la llanura de inundación
Comprobar pasos bajo las vías de comunicación paralelas al cauce			
Reconocimiento para completar el inventario de elementos humanos			
Comprobar tipología, dimensiones, altura y estado de las defensas			
Mediciones topográficas de obstáculos y sobreelevaciones			Naturalidad del trazado y de la morfología en planta
Comprobación de posibles dragados e incisión en el lecho			
Búsqueda de huellas de desbordamientos y restos de crecidas			
Reconocer en campo huellas de actuaciones de modificación del cauce			Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales
Medir la pendiente local y estimar la potencia específica			
Buscar elementos humanos que puedan obstaculizar o acelerar procesos			
Observar con distintas condiciones de flujo el funcionamiento de cauces modificados			
Recorrido exhaustivo para inventariar actuaciones no detectadas			Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral
Comprobar efectos de embalsamiento de infraestructuras transversales			
Búsqueda de síntomas de alteraciones humanas en el fondo del lecho			
Comprobar la distribución de secuencias longitudinales y detectar posibles rupturas anómalas de pendiente			Continuidad longitudinal de las riberas
Perfiles longitudinales locales, secciones, toma de datos topográficos			
Marcaje de puentes y colocación de testigos para seguimiento futuro			Anchura del corredor ribereño
Recorrido de ambas orillas para inventariar actuaciones no detectadas			
Análisis geomorfológico de detalle de márgenes, depósitos y escarpes			Estructura, naturalidad y conectividad transversal del corredor ribereño
Reconocer evidencias de erosión y de sedimentación			
Observar síntomas de ralentización o excitación de la dinámica lateral			Estructura, naturalidad y conectividad transversal del corredor ribereño
Comprobación de lo observado en gabinete, revisando y actualizando las discontinuidades			
Comprobación de lo observado en gabinete, identificando posibles talas o invasiones recientes			
Observaciones e inventarios para determinar la estratificación vertical, la estructura en bandas, la naturalidad de la vegetación, especies alóctonas, invasoras o repobladas y penetración de especies externas			
Comprobación y detección de elementos que rompen la conectividad			

El trabajo de campo se utiliza así, fundamentalmente, para confirmar lo documentado, resolver dudas, buscar síntomas de impactos, encontrar otros no visibles en fotos o mapas y matizar el efecto previsto de los mismos. Puede resultar útil acudir al campo con la evaluación del IHG ya hecha en borrador, confirmando o modificando sobre el terreno los puntos que se adjudicaron en cada parámetro.

Es muy importante realizar un recorrido exhaustivo por todo el tramo, preferiblemente a pie por las orillas y en barca por el cauce, de manera que no escape nada a la observación visual directa y de cerca: indicadores de procesos, granulometría, vegetación, restos de crecidas, etc.



Medición en campo de la pendiente local del cauce. Foto: Elena Díaz Bea.

Si hay dificultades de acceso al tramo y no puede realizarse ese recorrido completo se tratará de llegar hasta la orilla del río en varios puntos y por ambas márgenes, observando lo más posible en esa zona accesible.

En ocasiones, si es imposible conocer el tramo en su totalidad, podría aplicarse el índice por separado a cada punto de observación, obteniéndose posteriormente una media aplicable al tramo en su conjunto.

3.2.4. Dificultades de aplicación

Ya se ha comentado que la experiencia de los evaluadores es un factor muy importante en la aplicación del índice IHG. Pero aun tratándose de expertos en geomorfología fluvial e hidrología, el proceso de trabajo no está exento de dificultades.

La primera recomendación para minimizarlas es que el equipo de trabajo sea el mismo en toda el área de estudio y a lo largo de todo el periodo de evaluación. De esa manera se reducen dudas y conflictos derivados de la subjetividad de algunas puntuaciones. Es muy importante además que los evaluadores cuenten con una visión

global de todos los sistemas fluviales valorados, ya que pueden matizarse algunos parámetros a partir de la comparación de casos.

La principal dificultad deriva de la falta de información. Si no hay documentación suficiente sobre presiones e impactos o las pequeñas dimensiones del cauce impiden que se distingan detalles en la fotografía aérea, habrá que obtener toda la información en campo. Muchos tramos carecen de datos hidrológicos, que habrán de ser extrapolados de otros sectores próximos, o bien tendrán que ser deducidos de observaciones de campo. En suma, la documentación puede ser nula o casi nula en pequeños cursos fluviales. Afortunadamente las fotografías aéreas son cada vez de mayor escala, calidad y frecuencia, constituyendo una fuente de información fundamental.

Otra dificultad metodológica destacable consiste en determinar cuál es la situación de referencia en el pasado, la situación con la que debe ser comparada la actual, imprescindible para poder puntuar algunos de los parámetros. Puede optarse por consultar todas las fotos aéreas pretéritas disponibles y tomar como modelo de referencia la que muestre la mayor anchura en el corredor ribereño y espacio fluvial. Otra posibilidad es analizar el potencial ambiental del tramo, estimando cuál pudo ser su situación prístina. Para ello es necesaria una extensa experiencia en el campo de la geomorfología fluvial.

Los ríos asisten a cambios ambientales a lo largo del tiempo que pueden ser fácilmente observables, pero cuya interpretación es en ocasiones complicada. Un cambio detectado puede deberse a procesos de dinámica natural, a ajustes lentos y progresivos del sistema fluvial frente a perturbaciones humanas, o bien a un impacto directo. En el primer caso el cambio se valorará positivamente, puesto que es natural, en el segundo de forma intermedia, ya que ha habido un problema pero el río muestra una capacidad para sobreponerse al menos parcialmente, mientras que en el tercer caso el cambio se evaluará de forma negativa, como indicador de una mala acción sobre el río. Aquí la experiencia también es imprescindible para identificar estas posibilidades y valorarlas de forma conveniente. Este es uno de los mayores retos del análisis hidrogeomorfológico fluvial, pudiendo suscitar algunas dudas en el proceso de evaluación. Implica también la necesidad de evaluar de forma diacrónica, comparando la situación actual con otras pretéritas, así como prospectiva, siendo muy útil reflexionar sobre las tendencias de futuro que muestra el sistema fluvial, hacia dónde parece caminar.

En campo las principales dificultades derivan de la mala accesibilidad de algunos tramos. En ocasiones es totalmente imposible acceder al cauce en ningún punto. En tales casos habrá que aplicar el índice exclusivamente desde la foto aérea y la documentación. Bien es cierto que la inaccesibilidad total suele implicar la ausencia total de impactos, por lo que esos tramos alcanzarán valores máximos de calidad hidrogeomorfológica. En otras ocasiones los tramos son accesibles a pie pero requieren grandes desplazamientos que

implican muchas horas de trabajo, resultando gravosos para el conjunto del proyecto. Habrá que valorar esas situaciones en función del tiempo y financiación disponibles.

La época del año condiciona considerablemente el trabajo de campo. Las observaciones se realizan mejor con caudales bajos, del mismo modo que los desplazamientos por el propio cauce y las orillas. Por tanto, es siempre recomendable trabajar en periodos de estiaje o aguas bajas. Sin embargo, también es interesante realizar observaciones, si es posible, durante procesos de crecida, comprobando el funcionamiento del sistema. En el trabajo de campo son también probables los imprevistos que pueden ralentizar el proceso de evaluación. Hay que contar, por ejemplo, con periodos de mal tiempo que dificulten las observaciones. Por todo ello, los calendarios de trabajo deben ser flexibles y contar con márgenes de acción.

Por último, la evaluación también requiere un seguimiento, por cuanto cualquier nuevo impacto en el tramo estudiado modificaría los valores del índice. Es importante que la evaluación lleve asignada su fecha correspondiente y sería muy deseable que los procedimientos de evaluación se repitieran con la mayor frecuencia posible.

4. PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN DEL ÍNDICE

El funcionamiento básico del índice IHG es el siguiente. Evalúa tres agrupaciones, calidad funcional del sistema fluvial, calidad del cauce y calidad de las riberas, de tres parámetros cada una de ellas. En cada uno de los nueve parámetros o variables evaluadas se asigna el valor 10 si la situación es natural. Pero si se observan determinados impactos y presiones se van restando puntos a ese valor 10, siguiendo las propuestas de cada tabla.

4.1. Calidad funcional del sistema fluvial

Este primer bloque del índice IHG evalúa el funcionamiento del sistema fluvial como tal. Los elementos clave del bloque y del funcionamiento fluvial son el caudal, tanto hidrológico como sedimentario, y el espacio inundable. Por tanto, es un bloque en el que se valoran la materia y energía del sistema, es decir, el motor del mismo, además de la capacidad de autorregulación energética que supone la inundación.

La calidad funcional del sistema fluvial se obtiene a partir de la suma de las valoraciones de tres parámetros: la naturalidad del régimen de caudal, la disponibilidad y movilidad de sedimentos y la funcionalidad de la llanura de inundación.

4.1.1. Naturalidad del régimen de caudal

La primera función de su sistema fluvial es el transporte hidrológico desde cualquier punto de su cuenca hasta la salida de ésta. En este apartado se evalúa la naturalidad hidrológica, es decir, el grado de adecuación que el comportamiento del caudal hídrico presenta en relación con el que corresponde a las entradas de agua en la cuenca y su distribución en la red de drenaje, considerando los rasgos del medio natural de la cuenca. Por tanto, el evaluador debe preguntarse si **el río lleva la cantidad de agua que debería llevar en condiciones naturales, presenta cambios estacionales de caudal y registra crecidas.**

A un sistema fluvial cuyo funcionamiento hidrológico es natural se le asignan 10 puntos.




Tanto la cantidad de caudal circulante por el sector como su distribución temporal y sus procesos extremos responden a la dinámica natural, por lo que el sistema fluvial cumple perfectamente su función de transporte hidrológico	10
---	----

Si se detectan presiones e impactos que alteran ese funcionamiento hidrológico natural, se van descontando puntos, siguiendo las siguientes pautas. Pueden establecerse valores intermedios si el evaluador lo considera necesario.

Aguas arriba o en el propio sector funcional hay actuaciones humanas (embalses, derivaciones, vertidos, detracciones, retornos, trasvases, urbanización de la cuenca, incendios, repoblaciones, etc.) que modifican la cantidad de caudal circulante y/o su distribución temporal	si hay alteraciones muy importantes de caudal, de manera que se invierte el régimen estacional natural, o bien circula de forma permanente un caudal ambiental estable	-10
	si hay alteraciones marcadas en la cantidad de caudal circulante, al menos durante algunos periodos, lo cual conlleva inversiones en el régimen estacional de caudales	-8
	si hay variaciones en la cantidad de caudal circulante pero las modificaciones del régimen estacional son poco marcadas	-6
	si hay algunas variaciones en la cantidad de caudal circulante pero se mantiene bien caracterizado el régimen estacional de caudal	-4
	si hay modificaciones leves de la cantidad de caudal circulante	-2



Para realizar la evaluación es necesario contar con documentación hidrológica y puede ser conveniente realizar algunas comprobaciones en campo.

Trabajos de gabinete:

-  Recopilación, consulta e interpretación de los datos hidrológicos, atendiendo a los valores medios y extremos, y observando si la gráfica de régimen estacional es acorde o no a las condiciones naturales. Habría que reconstruir el régimen natural y compararlo con el expresado por los datos de aforo. El punto de partida del análisis son los datos de caudal de la estación de aforo existente en el sector valorado o la más próxima a él.
-  Documentación sobre todos los embalses, derivaciones, centrales hidroeléctricas, detracciones, bombeos, acequias, trasvases, etc., que haya aguas arriba del tramo evaluado (en cartografía, fotos aéreas, inventarios de los organismos de cuenca...). Si se han observado modificaciones en el funcionamiento hidrológico natural se analizan los posibles efectos de cada una de las infraestructuras encontradas.
-  Comprobar posibles cambios de usos del suelo en la cuenca, mediante la consulta de fotografías aéreas.

Dada la complejidad de cálculo de todo este proceso y la posible inexistencia de aforo en los ríos analizados, la evaluación deberá ser en muchos casos cualitativa, apoyada en el mejor conocimiento posible del territorio, en la experiencia del evaluador y en la comparación entre casos.

Trabajos de campo:

-  Se buscarán síntomas de sequía en la vegetación (ejemplares muertos o puntisecos) o entrada de especies xéricas (matorralización de la ribera).
-  Observar si los sedimentos del fondo del cauce y de las orillas se están compactando o encostrando.

- 🌲 Comprobar si el cauce se ha simplificado (haciéndose único, por ejemplo) y estrechado.
- 🌲 Comprobar si hay síntomas de incisión lineal, como raíces al descubierto en las orillas o bases de pilares de puentes a la vista.
- 🌲 También se comprobará si hay mayor vegetación de ribera que en el pasado, lo cual es síntoma de déficit de crecidas ordinarias.



Síntomas de incisión en el puente del río Ebro en Buñuel. Foto: Fernando Magdaleno.

4.1.2. Disponibilidad y movilidad de sedimentos

La función básica de un sistema fluvial es, junto con el transporte hídrico, la movilización de sedimentos aguas abajo. Ese caudal sólido forma parte del ciclo geomorfológico, encargándose los ríos del transporte de los materiales desde las vertientes hasta el mar. En este apartado el evaluador debe preguntarse si **lleva el río todos los sedimentos que puede llevar y parece capaz de transportarlos.**

A un sistema fluvial que dispone de todos los sedimentos que le aporta su cuenca y es capaz de transportarlos siguiendo un funcionamiento natural se le asignan 10 puntos.

El caudal sólido llega al sector funcional sin retención alguna de origen antrópico y el sistema fluvial ejerce sin cortapisas la función de movilización y transporte de esos sedimentos.
--

10



Presa de retención de sedimentos en el río Aurín, afluente del Gállego. Foto: Alfredo Ollero.

El principal impacto sobre la disponibilidad de sedimentos son las presas aguas arriba, que pueden generar importantes déficits sedimentarios en el tramo fluvial evaluado.

Hay presas con capacidad de retener sedimentos en la cuenca vertiente y en los sectores superiores del sistema fluvial	si más de un 75% de la cuenca hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-5
	si entre un 50% y un 75% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-4
	si entre un 25% y un 50% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-3
	si hay presas que retienen sedimentos, aunque afectan a menos de un 25% de la cuenca vertiente hasta el sector	-2

Además de las presas, dragados y extracciones alteran y reducen los flujos sedimentarios.

En el sector se registran extracciones de áridos o dragados que reducen la disponibilidad de sedimentos y alteran su movilidad	importantes y frecuentes	-4
	puntuales	-2

También se evalúan otros posibles síntomas locales de dificultades de movilización, indicadores de campo que pueden advertir sobre diferentes presiones humanas que podrían no haber sido catalogadas o cuyos efectos podrían haberse minimizado.

En el sector hay síntomas o indicios de dificultades en la movilidad de los sedimentos (<i>armouring</i> , <i>embeddedness</i> , alteraciones de la potencia específica, crecimiento de ciertas especies vegetales...) y pueden atribuirse a factores antrópicos	notables	-2
	leves	-1








Claros síntomas de problemas en la movilización de sedimentos, a causa de un vado sobre el río Guarga en Lerés. Foto: Alfredo Ollero.

Igualmente se da importancia a la llegada lateral de aportes sólidos a través de los procesos de vertiente o de procesos fluviales en afluentes que desembocan en el sector. Es una fuente sedimentaria muy relevante en muchos ríos y con mucha frecuencia se ve interrumpida o limitada por infraestructuras laterales del valle.








Las vertientes del valle y los pequeños afluentes que desembocan en el sector cuentan con alteraciones antrópicas que afectan a la movilidad de sedimentos, o bien su conexión con el valle, la llanura de inundación o el propio lecho fluvial no es continua	alteraciones y/o desconexiones muy importantes	-3
	alteraciones y/o desconexiones significativas	-2
	alteraciones y/o desconexiones leves	-1

En este parámetro al aplicar la evaluación puede resultar un valor negativo, en cuyo caso el valor final será de 0 puntos. Para evaluarlo es necesario un conocimiento profundo de la cuenca vertiente, así como experiencia en análisis de sedimentos y en la detección de síntomas en campo.

Trabajos de gabinete:

-  Localización de todas las presas aguas arriba del tramo, sobre cartografía, fotografía aérea y documentación.
-  Planimetría de la cuenca vertiente hasta el inicio del tramo y hasta la presa más baja de dicha cuenca vertiente.
-  Consulta documental y observación en fotos aéreas para determinar si ha habido dragados y extracciones de áridos en el tramo.
-  Caracterizar y evaluar el grado de naturalidad de los pequeños afluentes que llegan al sector, sobre cartografía, fotografía aérea y documentación.
-  Comprobación en mapas y fotos aéreas de la existencia de vías de comunicación y otras infraestructuras que puedan desconectar las vertientes de los cauces.

Trabajos de campo:

-  Análisis de sedimentos en lecho y márgenes, comprobando que su granulometría y morfometría sean variadas y acordes con las características de la cuenca y del tramo fluvial, y que se encuentren bien clasificados y distribuidos espacialmente.
-  Comprobar si se han producido dragados o extracciones en el cauce.
-  Identificación de posibles indicios de dificultades en la movilidad de sedimentos, como el *armouring* o acorazamiento o pavimentado del lecho con grandes bloques, frecuente al pie de presas, o el *embeddedness* o cubrimiento de cantos por una pátina de finos, efecto de pérdida de potencia de la corriente.
-  Si hay presas aguas arriba comprobar en qué medida los sedimentos las pueden salvar o no, qué tamaños pasan, con qué caudales, etc.
-  Comprobar si hay mayor vegetación de ribera que en el pasado, síntoma evidente de anomalías en el transporte sólido.
-  Realizar recorridos de reconocimiento de la línea de conexión vertientes-fondo de valle y de las distintas confluencias de barrancos laterales, con apoyo en fotografía aérea y cartografía.
-  Comprobar si hay pasos, y en qué estado se encuentran, bajo las vías de comunicación paralelas al cauce, para que los sedimentos procedentes de vertientes y afluentes puedan acceder al curso fluvial.

En muchos casos las confluencias con afluentes relevantes suponen un cambio de masa de agua, tramo o sector funcional, por lo que la aportación sedimentaria de éstos se evalúa en el sector aguas abajo de dicha confluencia.

4.1.3. Funcionalidad de la llanura de inundación

El papel de la llanura de inundación o cauce mayor en el sistema fluvial ya fue explicado en el apartado 2.1. Entre sus múltiples funciones la principal es regular los caudales de crecida, reduciendo su energía y favoreciendo las conexiones ecológicas entre cauce y riberas. Una llanura de inundación natural ejerce sin cortapisas las funciones citadas, pero la ocupación humana de la llanura de inundación altera esa funcionalidad.



Llanura de inundación del Ebro en Alagón durante la crecida de abril de 2007. Foto: Alfredo Ollero.

Además, las actividades humanas que ocupen las llanuras de inundación, si no son compatibles con la inundación periódica, generan situaciones de riesgo. Así, toda reducción de la funcionalidad natural puede también incrementar la peligrosidad del sistema fluvial aguas abajo o en la margen opuesta.

El evaluador debe preguntarse si **puede el río desbordarse sin problemas en la llanura de inundación** del tramo fluvial a estudio. Si el curso fluvial es encajado y carece de llanura de inundación se analiza como espacio inundable el propio cauce encajado, comprobando en sus orillas escarpadas o vertientes limitantes si no tiene obstáculos que dificulten la elevación natural (*in-flood*) del nivel de la corriente con la crecida. Si hay obstáculos el evaluador aplicará penalizaciones en función de la extensión e intensidad de la alteración.

Si la llanura de inundación, o el propio cauce encajado en su caso, puede ejercer sin ningún tipo de restricción antrópica sus funciones, se le asignan 10 puntos.

La llanura de inundación puede ejercer sin restricción antrópica sus funciones de disipación de energía en crecida, laminación de caudales-punta por desbordamiento y decantación de sedimentos

10

Las motas o diques longitudinales son los principales elementos de defensa para evitar las inundaciones. Por tanto, constituyen elementos negativos para la calidad hidrogeomorfológica del río, por cuanto dificultan la funcionalidad natural del desbordamiento.

La llanura de inundación cuenta con defensas longitudinales que restringen las funciones naturales de laminación, decantación y disipación de energía	si son defensas continuas	si son discontinuas pero superan el 50% de la longitud de la llanura de inundación	si alcanzan menos del 50% de la longitud de la llanura de inundación
si predominan defensas directamente adosadas al cauce menor	-5	-4	-3
si están separadas del cauce pero restringen más del 50% de la anchura de la llanura de inundación	-4	-3	-2
si sólo hay defensas alejadas que restringen menos del 50% de la anchura de la llanura de inundación	-3	-2	-1

Muchos elementos antrópicos de la llanura de inundación, y en especial infraestructuras transversales a la misma, alteran los flujos de crecida, por lo que su presencia también implica una reducción de valor en la aplicación del índice.





La llanura de inundación tiene obstáculos (defensas, vías de comunicación, edificios, acequias...), generalmente transversales, que alteran los procesos hidrogeomorfológicos de desbordamiento e inundación y los flujos de crecida	si hay abundantes obstáculos	-2
	si hay obstáculos puntuales	-1

Determinados usos del suelo, aunque no estén defendidos, también reducen la funcionalidad natural de la llanura de inundación. Se trata principalmente de edificaciones y procesos de urbanización, que implican no solo obstáculos superficiales, sino también subterráneos (cimentaciones a veces muy profundas), además de una impermeabilización del suelo que incrementa localmente la escorrentía. Los cultivos también han podido ser sobreelevados para reducir su inundabilidad, rellenándose en ocasiones el terreno hasta la cota de las motas. Dragados frecuentes y encauzamientos pueden llegar a provocar tal incisión del cauce que quede colgada la llanura de inundación, en cuyo caso ésta habrá perdido totalmente su funcionalidad.






La llanura de inundación presenta usos del suelo que reducen su funcionalidad natural o bien ha quedado colgada por dragados o canalización del cauce	si los terrenos sobreelevados o impermeabilizados superan el 50% de su superficie	-3
	si los terrenos sobreelevados o impermeabilizados constituyen entre el 15% y el 50% de su superficie	-2
	si hay terrenos sobreelevados o impermeabilizados aunque no alcanzan el 15% de su superficie	-1

Para evaluar este parámetro es necesario un conocimiento detallado del tramo a estudio y de toda la superficie inundable del mismo.

Trabajos de gabinete:

-  Inventariar todos los elementos antrópicos de la llanura de inundación y de las orillas del cauce menor, sobre fotografías aéreas y cartografía.
-  Conseguir documentación sobre obras de defensa y trabajos en el cauce.
-  Medición de longitudes y superficies afectadas, sobre las fotos y mapas, para poder aplicar la valoración.
-  Cartografía de las superficies impermeabilizadas en la llanura de inundación.

Trabajos de campo:

-  Completar el inventario de los elementos humanos ubicados en la llanura de inundación mediante un reconocimiento de campo.
-  Reconocimiento de campo de las dimensiones, altura y estado de las defensas, ya que éstas no siempre son bien visibles en la foto aérea. Se tendrá en cuenta también su tipología, ya que la permeabilidad es muy diferente entre un muro de hormigón o una mota de tierra compactada, por ejemplo.
-  Mediciones topográficas para determinar la altura de obstáculos y elementos y terrenos sobreelevados si no se cuenta con cartografía topográfica del suficiente detalle.
-  Comprobar si ha habido dragados profundos en el cauce o, en general, si se registran procesos intensos de incisión en el tramo.
-  En determinados casos se observará la existencia de huellas de desbordamientos y restos dejados por el curso fluvial en procesos de inundación, como indicadores de funcionalidad

4.2. Calidad del cauce

El segundo bloque del índice IHG evalúa el cauce como elemento clave del sistema fluvial natural. El cauce es una geomorfología construida por el río, por lo que constituye un indicador fundamental de la salud del mismo. Un cauce natural con su dinámica geomorfológica propia garantiza un sistema fluvial sano con unos ecosistemas en buen estado.

La evaluación del cauce y su dinámica se desarrolla desde una perspectiva tridimensional: longitudinal, transversal y vertical. Así, la calidad del cauce se obtiene a partir de la suma de las valoraciones de tres parámetros: 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.

4.2.1. Naturalidad del trazado y de la morfología en planta

Los cauces fluviales se clasifican en función de su morfología en planta. Suele diferenciarse entre cauces únicos, que son los rectos, sinuosos y meandriformes, y cauces múltiples, que son los trenzados y anastomosados. La pendiente, la naturaleza de la cuenca, el carácter rocoso o aluvial del fondo de valle y el caudal generador (caudal de crecidas ordinarias) condicionan que se dé una determinada morfología.



Cauce anastomosado del río Aragón Subordán en Aguas Tuertas. Foto: Elena Díaz Bea.

Así pues, la morfología del cauce o estilo fluvial es el resultado de todos los elementos y procesos geomorfológicos que se dan en su cuenca, por lo que constituye un indicador básico de naturalidad de todo el sistema fluvial. Algunos procesos de cambio en esa forma y trazado del cauce pueden responder a causas antrópicas, tanto directas (rectificaciones del cauce, encauzamientos, etc.) como indirectas (regulación, deforestación, etc.). Han sido y son muy frecuentes por estas causas las tendencias a la simplificación de cauces complejos como los trenzados o anastomosados. La pérdida de naturalidad en el trazado de un cauce es una pérdida de patrimonio natural y de geodiversidad, poniéndose en peligro la dinámica fluvial y el buen estado ecológico.



Trazado artificialmente rectilíneo del río Bernesga en León. Foto: Alfredo Ollero.

El evaluador debe preguntarse si **conserva el cauce un trazado o forma en planta natural** en el tramo fluvial a estudio. Para este parámetro es fundamental la consulta y comparación de fotografías aéreas de diferentes fechas. Hay que observar si el trazado del cauce es el que corresponde con la pendiente, caudal y litología de la cuenca y del valle o bien ha sido obligado a adaptarse a cambios humanos en la cuenca.

Si el cauce conserva un estado natural y presenta caracteres acordes con los de la cuenca y el valle se le asignan 10 puntos.

El trazado del cauce se mantiene natural, inalterado, y la morfología en planta presenta los caracteres y dimensiones acordes con las características de la cuenca y del valle, así como con el funcionamiento natural del sistema	10
--	----

Los cambios de trazado artificiales suelen consistir en la simplificación del cauce o en la reducción de sinuosidades. Con ello se pierde geodiversidad, lo cual provoca un notable perjuicio para el estado ecológico. En ocasiones se producen desvíos, que modifican todas las condiciones de funcionamiento del sistema fluvial. Todas estas alteraciones obligan al río a modificar sus procesos de erosión y sedimentación, provocando que el sistema busque regresar al viejo trazado, y que se alteren también los procesos longitudinales, laterales y verticales, no sólo en el tramo afectado, sino también y de forma muy notable aguas abajo.

En ocasiones también se puede encontrar un cauce que ha logrado auto-renaturalizarse parcialmente tras un cambio de trazado artificial registrado hace años o décadas.






Se han registrado cambios de trazado artificiales y modificaciones antrópicas directas de la morfología en planta del cauce	si afectan a más del 50% de la longitud del sector	si afectan a una longitud entre el 25% y el 50%	si afectan a una longitud entre el 10% y el 25%	si afectan a menos del 10% de la longitud del sector
si hay cambios drásticos (desvíos, cortas, relleno de cauces abandonados, simplificación de brazos...)	-8	-7	-6	-5
si, no habiendo cambios drásticos, sí se registran cambios menores (retranqueo de márgenes, pequeñas rectificaciones...)	-6	-5	-4	-3
si, no habiendo cambios recientes drásticos o menores, sí hay cambios antiguos que el sistema fluvial ha renaturalizado parcialmente	-4	-3	-2	-1

Los cambios en el trazado y morfología en planta también pueden ser indirectos, derivándose de cambios en la cuenca, de actuaciones en el cauce aguas arriba o de la ubicación local de ciertas infraestructuras (puentes, urbanización, tuberías enterradas, etc.) que pueden provocar desvíos en los flujos hídricos y rápidas respuestas geomorfológicas a los mismos. Estos cambios pueden observarse de forma retrospectiva (comparando con fotos aéreas antiguas) y pueden manifestarse de forma muy lenta aunque progresiva, siendo muchas veces difíciles de detectar.



En el sector se observan cambios retrospectivos y progresivos en la morfología en planta derivados de actividades humanas en la cuenca o del efecto de infraestructuras	notables	-2
	leves	-1

Para evaluar este parámetro es necesario un conocimiento exhaustivo y documentado de la cuenca y del cauce en su situación actual y en el pasado.

Trabajos de gabinete:

-  Trabajo con fotografías aéreas y la cartografía diacrónica o comparativa de las mismas para encontrar los cambios de trazado. La consulta de mapas antiguos también puede ayudar a encontrar casos.
-  Determinar si los cambios encontrados son naturales, en cuyo caso se valorarán positivamente si responden a la dinámica propia del tipo de cauce fluvial de que se trate, o bien son claramente originados o inducidos por acciones humanas. Es necesaria experiencia en geomorfología fluvial para realizar esta determinación.
-  Consultar documentación sobre antiguas actuaciones en el cauce aguas arriba del sector evaluado, así como datos e informes que expliquen la evolución de los usos del suelo en la cuenca y otras modificaciones en la misma que hayan podido repercutir en la morfología en planta del cauce aguas abajo.
-  Consulta de los proyectos de las actuaciones directas que se han podido ejecutar en el mismo sector evaluado.
-  Medir en cartografía topográfica de detalle la longitud de las intervenciones directas de modificación del trazado del cauce, para relacionarla con la longitud total del sector y poder así puntuar.

Trabajos de campo:

-  Reconocer en campo huellas de actuaciones de modificación del cauce de las que puede que no se hubiera encontrado documentación ni se distinguieran con facilidad en foto aérea.
-  Comprobar si el trazado del cauce es el que corresponde con la pendiente, caudal y litología de la cuenca y del valle, o bien ha sido obligado a adaptarse a cambios humanos aguas arriba. Puede ser necesario medir la pendiente local y obtener la potencia específica para comparar la situación con otros casos.

- 🌲 Buscar elementos antrópicos que puedan ejercer de obstáculos o acelerar procesos, provocando posibles futuros cambios de trazado en el cauce.
- 🌲 Observar en distintas situaciones de caudal circulante el comportamiento del sistema fluvial en su cauce modificado artificialmente, evaluando en qué medida el río es capaz de adaptarse al encauzamiento o va a registrar procesos de búsqueda de nuevo equilibrio.

4.2.2. Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales

En este apartado del índice se evalúan dos parámetros interrelacionados: la continuidad del cauce como forma de relieve y la naturalidad de su fondo o lecho. Ambos parámetros controlan las dinámicas longitudinal y vertical del sistema fluvial, dinámicas a su vez interactuantes, condicionadas la una por la otra.

La dinámica longitudinal se resuelve en una sucesión de formas de fondo del lecho: escalones y pozas, resaltes y remansos, zonas de fondo homogéneo, etc. Deben ser acordes con la litología y estratificación locales (en lechos rocosos), con el tamaño de los sedimentos (en lechos aluviales), con la pendiente local y con el conjunto del perfil longitudinal del río. La dinámica vertical está conformada por procesos de incisión o de acreción, o bien mantenerse próxima a la estabilidad.

Son muy frecuentes las actuaciones en cauces que destruyen o alteran la continuidad longitudinal, el fondo del lecho y las dinámicas longitudinales y verticales, como ya se expuso en el apartado 2.2.4.



Fondo del lecho del río Sieste (cuenca del Cinca) destruido por un dragado, actuación “de urgencia” tras la crecida de julio de 2001. Foto: Alfredo Ollero.

El evaluador debe preguntarse si **carece el cauce de barreras que rompan su continuidad o de elementos antrópicos que alteren el fondo del lecho**. Si la respuesta es afirmativa se le asignan 10 puntos al tramo evaluado.

El cauce es natural y continuo y sus procesos hidrogeomorfológicos longitudinales y verticales son funcionales, naturales y acordes con las características de la cuenca y del valle, del sustrato, de la pendiente y del funcionamiento hidrológico	10
--	----

Las presas o azudes transversales al cauce provocan un efecto barrera, rompiendo la continuidad longitudinal del mismo, embalsando la corriente y provocando procesos de incisión aguas abajo.

En el sector funcional hay infraestructuras transversales al cauce que rompen la continuidad del mismo	si embalsan más del 50% de la longitud del sector	si embalsan del 25 al 50% de la longitud del sector	si embalsan menos del 25% de la longitud del sector
si hay al menos una presa de más de 10 m de altura y sin <i>bypass</i> para sedimentos	-5	-4	-3
si hay varios azudes o al menos una presa de más de 10 m con <i>bypass</i> para sedimentos	-4	-3	-2
si hay un solo azud	-3	-2	-1

Otras infraestructuras transversales también producen efecto presa, de forma permanente o en determinadas situaciones de caudal, alterando también la continuidad y los procesos longitudinales.

Hay puentes, vados u otros obstáculos menores que alteran la continuidad longitudinal del cauce	más de 1 por cada km de cauce	-2
	menos de 1 por cada km de cauce	-1



Vado en el río Bullaque, afluente del Guadiana. Foto: Alfredo Ollero



Puente-vado de tubos con retención de sedimentos en el río Tulivana, afluente del Gállego, en Sabiñánigo. Foto: Alfredo Ollero.



En ocasiones los puentes se suceden en tramos muy cortos produciendo efectos sinérgicos. Río Aranda en Illueca. Foto: Alfredo Ollero.



Puente con claro efecto de retención de sedimentos en la rambla de Cañada Campillo, afluente del río Mesa, en Jaraba. Foto: Alfredo Ollero.

Diferentes actuaciones humanas en los cauces, en especial dragados, extracciones de áridos, solados y limpiezas de vegetación, alteran la naturalidad del lecho y los procesos hidrogeomorfológicos longitudinales (sucesión de resaltes y remansos) y verticales (agradación o degradación), pudiendo modificar la granulometría y morfometría de los materiales depositados.







Cauce canalizado con fondo del lecho totalmente hormigonado. Río Sía, afluente del Gállego, en Biescas. Foto: Alfredo Ollero.



La topografía del fondo del lecho, la sucesión de resaltes y remansos, la granulometría-morfometría de los materiales o la vegetación acuática o pionera del lecho muestran síntomas de haber sido alterados por dragados, extracciones, solados o limpiezas	en más del 25% de la longitud del sector	-3
	en un ámbito de entre el 5 y el 25% de la longitud del sector	-2
	de forma puntual	-1

Para realizar la evaluación es necesario un buen conocimiento documental de las infraestructuras del tramo y experiencia en geomorfología fluvial para detectar síntomas de alteración del fondo del lecho, ya que muchas veces no existe registro documental de dragados, extracciones de gravas o limpiezas de vegetación.

Trabajos de gabinete:

-  Localizar e inventariar todas las infraestructuras a partir de fotografías aéreas, cartografías y documentación.
-  Consulta de documentación en organismos de cuenca sobre localización y dimensiones de dragados, extracciones, solados y limpiezas.
-  Realizar a partir de un modelo de elevaciones del terreno y cartografía de detalle el perfil longitudinal del curso fluvial.
-  Comparación de datos topográficos actuales obtenidos en campo con referencias topográficas antiguas extraídas de mapas y de proyectos de infraestructuras (puentes, defensas, azudes, carreteras...), e incluso de documentación histórica y fotos locales, para comprobar posibles procesos de incisión o acreción.

Trabajos de campo:

-  Recorrer exhaustivamente el tramo a evaluar para detectar e inventariar otras actuaciones humanas no recogidas en la información documental, o no visibles en foto aérea.
-  Comprobar los efectos de embalsamiento que ejercen las distintas infraestructuras transversales del tramo. En cada azud, puente o vado se observará qué sedimentos los pueden salvar y con qué caudales.

- 🌲 Búsqueda en campo de síntomas de alteraciones humanas en el fondo del lecho. Se observa si la sucesión de rápidos y remansos es acorde con la pendiente y geomorfología del lecho, si hay vegetación helófitas, macrófitos, algas u otros organismos indicadores de remoción. Se comprueban procesos rápidos de incisión en puentes, raíces de las orillas, socavación de escarpes, etc.
- 🌲 Observar en campo si es correcta la distribución y longitud media de las secuencias longitudinales de escalones y pozas o resaltes y remansos, de acuerdo con las condiciones del tramo. Comprobar si hay rupturas de pendiente no justificadas.
- 🌲 Realizar perfiles longitudinales locales y secciones transversales, así como toma de datos topográficos con nivel o GPS, comparando los resultados con situaciones del pasado o con datos de gabinete, de cara a detectar alteraciones en la dinámica vertical del cauce.
- 🌲 Marcaje de puentes y colocación de testigos para poder comprobar en un seguimiento futuro posibles procesos de dinámica longitudinal o vertical.

4.2.3. Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral

Las orillas o márgenes del cauce deberían encontrarse en estado natural para la perfecta interconexión entre todos los ecotopos y biocenosis. Si son naturales pueden asistir a procesos de erosión y sedimentación que conforman una dinámica geomorfológica lateral. Una movilidad lateral activa del cauce es, por tanto, indicador o síntoma de un sistema fluvial sano y garantía de valores ecológicos y biodiversidad.

La dinámica lateral debe ser acorde con los caracteres naturales del tipo de cauce correspondiente (geomorfología del valle en que se enmarca, sustrato, material aluvial, caudal, pendiente local, etc.) y suele responder a un equilibrio entre márgenes con erosión y márgenes con sedimentación.



Orillas totalmente desnaturalizadas, e impedida su dinámica lateral, por canalización con escollera. Río Huerva en Tosos. Foto: Alfredo Ollero.

Sin embargo, la movilidad lateral de los cauces origina problemas socioeconómicos, como pérdidas de terreno o conflictos de propiedad, constituyendo un riesgo geomorfológico para ciertas actividades humanas y asentamientos de población. En vez de ordenar el territorio y alejar esas actividades del cauce, estas situaciones de riesgo han llevado a eliminar la movilidad lateral del cauce mediante defensas de margen, que se localizan en las orillas erosivas. Dichas defensas suelen ser efectivas para los fines socioeconómicos, pero son muy negativas para el sistema fluvial, alterando radicalmente los procesos de erosión y sedimentación. Así, el río suele reaccionar sobreactuando en sectores próximos (enfrente o aguas abajo) no defendidos.

El evaluador debe preguntarse **si las orillas del tramo son naturales y el cauce puede moverse lateralmente**. Si es así se le asignan 10 puntos al tramo evaluado.

El cauce es natural y tiene capacidad de movilizarse lateralmente sin cortapisas, ya que sus márgenes naturales presentan una morfología acorde con los procesos hidromorfológicos de erosión y sedimentación	10
---	----

Canalizaciones, defensas de margen (escolleras, muros, gaviones, espigones, etc.) y otras infraestructuras o edificios adosados al cauce desnaturalizan las orillas e impiden su movilidad. En ocasiones son acequias o tuberías enterradas las que impiden la dinámica de la orilla.

El cauce ha sufrido una canalización total o hay defensas de margen no continuas o infraestructuras (edificios, vías de comunicación, acequias...) adosadas a las márgenes	en más del 75% de la longitud del sector	-6
	entre un 50% y un 75% de la longitud del sector	-5
	entre un 25% y un 50% de la longitud del sector	-4
	entre un 10 y un 25% de la longitud del sector	-3
	entre un 5 y un 10% de la longitud del sector	-2
	en menos de un 5% de la longitud del sector	-1



Las canalizaciones totales modifican tanto el fondo como las márgenes. Rambla de Jaraba, afluente del río Mesa. Foto: Alfredo Ollero.



En urbanizaciones recientes se han ejecutado canalizaciones con artificialización total de las márgenes. Barranco de la Puebla de Alfindén. Foto: Alfredo Ollero.



Escollerado y entubamiento bajo el paseo urbano del barranco Yasa Valera, afluente del Cidacos, en Herce. Foto: Alfredo Ollero.



Encauzamiento con escollera y gaviones del barranco de los Lecheros en Alfocea (Zaragoza). Foto: Alfredo Ollero.

Otros elementos puntuales y no tan duros como una infraestructura también pueden alterar los procesos laterales, pudiendo generar incluso paralelamente contaminación o degradación de la orilla.





Las márgenes del cauce presentan elementos no naturales, escombros o intervenciones que modifican su morfología natural	notables	-2
	leves	-1

De forma indirecta, actuaciones en el cauce aguas arriba pueden producir alteraciones de la dinámica lateral y desequilibrios entre márgenes erosivas y sedimentarias, que pueden ser apreciadas por los evaluadores.





En el sector se observan síntomas de que la dinámica lateral está limitada o no hay un buen equilibrio entre márgenes de erosión y de sedimentación, pudiendo ser efecto de actuaciones en sectores funcionales aguas arriba	notables	-2
	leves	-1

Para evaluar este parámetro es necesario un conocimiento documental de actuaciones en el tramo y un recorrido exhaustivo por ambas márgenes. La experiencia puede ayudar a encontrar síntomas de efectos indirectos.

Trabajos de gabinete:

-  Inventario completo de elementos antrópicos en las orillas del cauce a partir de fotografías aéreas, cartografías y documentación.
-  Consulta de proyectos de defensa de margen o canalización en organismo de cuenca y administración local.
-  Medición sobre cartografía u ortofoto de las longitudes afectadas por los elementos que ocupan las márgenes.
-  Comprobación en fotos aéreas antiguas del dinamismo lateral del curso fluvial en el tramo afectado antes de las intervenciones.

Trabajos de campo:

-  Recorrer exhaustivamente por las dos orillas el tramo a evaluar para detectar e inventariar otros en busca de elementos e infraestructuras que no estuvieran catalogadas documentalmente o no observables en fotografía aérea.
-  Aprovechando los mismos recorridos, análisis de detalle de la morfología de las márgenes y de la ubicación y características de los depósitos sedimentarios y de los escarpes.
-  Reconocer si hay evidencias de erosión en las márgenes afectadas por flujo directo y de sedimentación progresiva en márgenes a resguardo de la corriente.
-  Observar síntomas anormales de ralentización o de excitación de la dinámica lateral e interpretación de los mismos, dilucidando si son naturales o bien pudieran derivarse de las infraestructuras y actuaciones humanas en el mismo tramo o aguas arriba.

En cursos fluviales encajados en los que la movilidad lateral es muy restringida o prácticamente nula se otorgará el máximo valor salvo que en las paredes o vertientes que constituyen las márgenes haya algún elemento antrópico, en cuyo caso el evaluador aplicará penalizaciones en función de la extensión e importancia de dicho elemento.

4.3. Calidad de las riberas

El corredor ribereño es el espacio en el que se ha movido el cauce menor en las últimas décadas, quedando conformado en muchas ocasiones por masas de vegetación sobre depósitos sedimentarios de granulometría variada y por “anexos fluviales” (canales de crecida, cauces abandonados, etc.). Así pues, el corredor es la banda central de la llanura de inundación, la franja que integra el cauce, su cortejo de bosques ribereños y los paleocauces más recientes. Otros caracteres básicos son un nivel freático alto y su topografía llana pero irregular, labrada por las aguas de desbordamiento.

El papel hidrogeomorfológico principal de la vegetación de ribera es el de filtro de los procesos fluviales, disminuyendo la velocidad de la corriente, favoreciendo la sedimentación diferencial y reforzando y estabilizando las orillas.

En este índice se valora esta función hidrogeomorfológica del corredor ribereño, siendo caracteres clave para definir la misma la continuidad, anchura, estructura, naturalidad y conectividad transversal. Así, la calidad de las riberas se obtiene a partir de la suma de las valoraciones de tres parámetros: la continuidad longitudinal del corredor ribereño, la anchura del mismo y su calidad intrínseca, definida por su estructura, por su naturalidad y por la conectividad entre sus distintos ambientes.

4.3.1. Continuidad longitudinal

La continuidad del corredor ribereño a lo largo del fondo de valle fluvial es una característica clave de su naturalidad y funcionalidad hidrogeomorfológica, ecológica y paisajística. Un corredor ribereño continuo y bien conservado es una “autopista ecológica del territorio”, entretejiendo conexiones entre numerosos espacios naturales. También hay cursos fluviales encajados que no pueden contar con corredor ribereño porque carecen de espacio para él de forma natural. En esos casos, si las orillas o las propias paredes del valle son naturales ejercen un papel hidrogeomorfológico adecuado a las condiciones de dichos cursos, equivalente al de una ribera.

La presión demográfica, la calidad de los fondos de valle para usos agrarios, su utilidad para el trazado de infraestructuras y para el desarrollo urbano y, sobre todo, la ausencia de una adecuada planificación territorial en el pasado y los déficit e incumplimientos legales, han generado una ocupación intensa y creciente de muchos espacios ribereños. Éstos han perdido anchura, pero sobre todo continuidad, valor aún más frágil. Esta pérdida de continuidad es muy negativa no solo para la propia ribera, sino también para el cauce y para los seres vivos que en él habitan.

Hay que preguntarse si **el corredor ribereño es continuo a lo largo de todo el tramo y en ambos márgenes**. Si es así se asignan 10 puntos al tramo evaluado.



Ruptura de continuidad en el corredor ribereño con deforestación y mota protegida por escollera para salvaguardar los cultivos. Río Ebro en Castejón. Foto: Alfredo Ollero.


El corredor ribereño es continuo a lo largo de todo el sector funcional y en ambas márgenes del cauce menor, siempre que el marco geomorfológico del valle lo permita	10
---	----


La ruptura de la continuidad longitudinal del corredor ribereño puede deberse a la ocupación del espacio por usos urbanos o infraestructuras, que pueden considerarse consolidados, no recuperables o permanentes y que, por tanto, va a ser muy difícil que se retiren en el futuro. Otros espacios agrarios sin edificaciones ni infraestructuras también rompen la continuidad longitudinal, pero podrían ser recuperables para la ribera. Así pues, en la puntuación se diferencia entre discontinuidades permanentes y no permanentes.

La continuidad longitudinal de las riberas naturales puede estar interrumpida bien por usos del suelo permanentes (urbanización, naves, granjas, graveras, edificios, carreteras, puentes, defensas, acequias...) o bien por superficies con usos del suelo no permanentes (choperas, cultivos, zonas taladas, caminos...).	si más del 70% de las discontinuidades son permanentes	si entre un 30% y un 70% de las discontinuidades son permanentes	si menos del 30% de las discontinuidades son permanentes
si las riberas están totalmente eliminadas	-10	-10	-10
si la longitud de las discontinuidades supera el 85% de la longitud total de las riberas	-10	-9	-8
si las discontinuidades suponen entre el 75% y el 85% de la longitud total de las riberas	-9	-8	-7
si las discontinuidades suponen entre el 65% y el 75% de la longitud total de las riberas	-8	-7	-6
si las discontinuidades suponen entre el 55% y el 65% de la longitud total de las riberas	-7	-6	-5
si las discontinuidades suponen entre el 45% y el 55% de la longitud total de las riberas	-6	-5	-4
si las discontinuidades suponen entre el 35% y el 45% de la longitud total de las riberas	-5	-4	-3
si las discontinuidades suponen entre el 25% y el 35% de la longitud total de las riberas	-4	-3	-2
si las discontinuidades suponen entre el 15% y el 25% de la longitud total de las riberas	-3	-2	-1
si las discontinuidades suponen menos del 15%	-2	-1	-1


Para la evaluación de este parámetro es fundamental contar con ortofotos de calidad y lo más actualizadas posible. El trabajo de campo será necesario para comprobar lo observado en dichas ortofotos.

Trabajos de gabinete:

 Inventariar y delimitar, sobre ortofotos, fotografías aéreas y cartografía, todos los elementos antrópicos que rompen la continuidad del corredor ribereño en cada una de las márgenes del curso fluvial, diferenciando entre usos del suelo permanentes o recuperables.

 Medición de las rupturas o discontinuidades, siguiendo las márgenes del río, evaluando por separado las permanentes y las no permanentes, así como su importancia relativa (en tanto por ciento) respecto a la longitud total del corredor en el sector.

Trabajos de campo:

 Comprobación en campo de lo observado en gabinete, revisando y actualizando con detalle las discontinuidades del corredor.

4.3.2. Anchura del corredor ribereño

La anchura de una ribera es un parámetro fundamental para evaluar su calidad, ya que un corredor ribereño extenso garantiza todas las funciones hidrogeomorfológicas y ejerce de forma efectiva como ecotono y eje de interconexiones entre el cauce, la llanura de inundación, el freático y el valle.

Sin embargo, estimar la anchura potencial de una ribera es difícil, siendo fundamental el conocimiento del terreno por parte de los evaluadores y la visión retrospectiva con apoyo en fotografías aéreas antiguas que atestigüen dimensiones mayores en el pasado. Otra posibilidad es considerar como superficie potencial todo el cauce mayor o llanura de inundación, aunque ello implica un retroceso a una situación anterior a cualquier actividad humana. Definir la anchura potencial constituye, en suma, una decisión conflictiva, relacionada con la dificultad, presente en la determinación del estado ecológico, de definir una situación o modelo de referencia.

De forma práctica podría recomendarse considerar anchura potencial a la que alcanzaba el corredor fluvial natural en la imagen aérea disponible donde fuera más extenso. La fotografía aérea de 1956-57, disponible para el conjunto del Estado español, puede ser una buena referencia, ya que muchos espacios fluviales fueron invadidos con posterioridad, a partir de la década de los sesenta. En algunas zonas se pueden consultar fotografías anteriores, en las que pueden encontrarse situaciones de mayor anchura fluvial.



Los anexos fluviales aumentan la anchura del corredor ribereño y enriquecen su diversidad. Galacho de La Alfranca en el río Ebro. Foto: Alfredo Ollero



Riberas totalmente eliminadas. Río Segre en Balaguer. Foto: Alfredo Ollero.



En Logroño se ha conservado una valiosa franja de ribera entre el cauce menor del río Ebro y las zonas verdes urbanas. Foto: Alfredo Ollero.

Para valorar este parámetro el evaluador debe preguntarse, por tanto, si el corredor ribereño conserva toda su anchura potencial a lo largo del tramo y en

ambos márgenes, siempre que las características del valle lo permitan. Si la respuesta es afirmativa se le asignan 10 puntos al tramo evaluado.

Las riberas supervivientes conservan toda su anchura potencial, de manera que cumplen perfectamente su papel en el sistema hidrogeomorfológico	10
--	----



Generalmente en fondos de valle extensos la ocupación agraria del espacio fluvial ha sido considerable, reduciendo la anchura del corredor ribereño.

La anchura de la ribera superviviente ha sido reducida por ocupación antrópica	si la anchura media del corredor ribereño actual es inferior al 40% de la potencial	-8
	si la anchura media del corredor ribereño actual se encuentra entre el 40% y el 60% de la anchura potencial	-6
	si la anchura media del corredor ribereño actual se encuentra entre el 60% y el 80% de la anchura potencial	-4
	si la anchura media del corredor ribereño actual ha sido reducida pero se mantiene por encima del 80% de la anchura potencial	-2


Si la continuidad longitudinal (parámetro precedente) ha resultado 0 (ribera eliminada), la anchura será también lógicamente 0. Si la continuidad longitudinal es muy baja (valorada como 1 ó 2), por cuanto quedan superficies de ribera natural muy pequeñas en el sector, es preciso penalizar la aplicación del baremo, ya que, por mucha anchura que tuviera la ribera superviviente, no sería representativa y no podría cumplir con su función en el sistema natural.

si la <i>Continuidad longitudinal</i> ha resultado 0 (ribera totalmente eliminada)	-10	si al aplicar estos puntos el resultado final es negativo, valorar 0
si la <i>Continuidad longitudinal</i> ha resultado 1	-2	
si la <i>Continuidad longitudinal</i> ha resultado 2 ó 3	-1	

Trabajos de gabinete:

-  Marcar sobre fotografías aéreas y mapas antiguos la anchura máxima alcanzada por el corredor ribereño en el sector, obteniéndose la anchura media.
-  Evaluar a continuación sobre la fotografía aérea más reciente la situación actual, obteniendo la anchura media del corredor y comparándola con la potencial o histórica tomada como referencia.

Trabajos de campo:

-  Comprobación en campo de lo observado en gabinete, identificando posibles talas o invasiones recientes que hayan reducido la ribera.

4.3.3. Estructura, naturalidad y conectividad transversal

En este valor final del índice se analiza el estado de tres parámetros fundamentales de la calidad interna de las riberas. La estructura hace referencia tanto a la distribución en estratos (herbáceos, arbustivos, arbóreos) de la vegetación de ribera como a su

distribución en bandas en función de la distancia al cauce y al freático. La naturalidad se refiere a la adecuación de las especies vegetales al medio ribereño, siendo contraria, por tanto, a la presencia de especies alóctonas o invasoras. En tercer término, ña conectividad entre hábitats o ambientes dentro del corredor ribereño y en sentido fundamentalmente transversal es un valor ecológico relevante. Si toda la complejidad de la ribera está interconectada y lo está también con el cauce, las crecidas y los procesos de desbordamiento redistribuirán elementos y nutrientes enriqueciendo todas las interacciones ecológicas.

El evaluador debe preguntarse si **conservan las riberas una buena estructura interna, naturalidad en sus especies vegetales y conexiones naturales con el cauce y entre todos los ambientes o hábitats**, siempre que las características naturales del valle lo permitan. Si la respuesta a dicha pregunta es afirmativa se le asignan 10 puntos al tramo evaluado.

En las riberas supervivientes se conserva la estructura natural (orlas, estratos, hábitats), la naturalidad de las especies y toda la complejidad y diversidad transversal, no existiendo ningún obstáculo antrópico interno que separe o desconecte los distintos hábitats o ambientes que conforman el corredor.	10
--	----



Ribera densa y madura instalada en orilla actualmente erosiva, a la que protege con eficacia. Río Ebro en Castejón. Foto: Alfredo Ollero.

Muchas presiones antrópicas sobre las riberas, algunas de ellas tradicionales, alteran la estructura en bandas y vertical de las mismas.

Hay presiones antrópicas en las riberas (pastoreo, desbroces, talas, incendios, sobreexplotación del acuífero, recogida de madera muerta, relleno de brazos abandonados, basuras, uso recreativo...) que alteran su estructura	si se extienden en más del 50% de la superficie de la ribera actual	si se extienden entre el 25% y el 50% de la superficie de la ribera actual	si se extienden en menos del 25% de la superficie de la ribera actual
si las alteraciones son importantes	-4	-3	-2
si las alteraciones son leves	-3	-2	-1



Ribera desestructurada con plantaciones recientes monoespecíficas y claramente ordenadas en hileras. Río Cidacos en Santa Eulalia Somera. Foto: Alfredo Ollero.

Diferentes acciones humanas pueden favorecer la entrada de especies alóctonas en la ribera, alterando la composición florística propia de estos medios. Las repoblaciones son en muchos casos negativas, ya que no suelen emplear las especies correctas y suelen ejecutarse con técnicas agresivas para el sustrato ribereño. Además, los medios fluviales en buen estado hidrogeomorfológico pueden ser colonizados de forma natural, por lo que no necesitan repoblaciones. Tristemente en muchos casos se confunde restauración con revegetación, y ésta no puede ser valorada positivamente con este índice.

La naturalidad de la vegetación ribereña ha sido alterada por invasiones o repoblaciones	si las alteraciones son significativas	-2
	si las alteraciones son leves	-1

Las defensas longitudinales no sólo alteran la funcionalidad del sistema y la naturalidad de las márgenes, como se ha evaluado en parámetros precedentes, sino que también interrumpen las relaciones transversales dentro de la ribera. Otros elementos antrópicos, como carreteras, pistas o acequias, también significan rupturas en las conexiones entre hábitats, rompiendo la conectividad interna del espacio fluvial.



Ruptura transversal de la ribera por deforestación y por dique longitudinal, que desconectan el bosque relicto (izquierda) del resto del corredor. Río Ebro en San Adrián. Foto: Alfredo Ollero.






En el sector hay infraestructuras lineales, generalmente longitudinales o diagonales, (carreteras, defensas, acequias, pistas, caminos...) que alteran la conectividad transversal del corredor	si se distribuyen por todo el sector y la suma de sus longitudes supera el 150% de la longitud de las riberas	-4
	si la suma de sus longitudes da un valor entre el 100% y el 150% de la longitud de las riberas	-3
	si la suma de sus longitudes da un valor entre el 50% y el 100% de la longitud de las riberas	-2
	si la suma de sus longitudes es inferior al 50% de la longitud de las riberas	-1

Como en el caso del parámetro precedente, si la continuidad longitudinal hubiera resultado 0 la valoración de este parámetro será también 0. Si la continuidad longitudinal es muy baja (1 ó 2), es preciso penalizar la aplicación del baremo, para no sobrevalorar un corredor muy restringido superficialmente, aunque tuviera alta calidad interna.


si la <i>Continuidad longitudinal</i> ha resultado 0 (ribera totalmente eliminada)	-10	si al aplicar estos puntos el resultado final es negativo, valorar 0
si la <i>Continuidad longitudinal</i> ha resultado 1	-2	
si la <i>Continuidad longitudinal</i> ha resultado 2 ó 3	-1	



Para evaluar las presiones antrópicas sobre la estructura de hábitats, orlas y estratos, sobre la naturalidad de la vegetación y sobre la conectividad transversal del corredor ribereño pueden emplearse bases documentales, fotográficas y cartográficas, pero es fundamental el trabajo de campo, que puede incluir la elaboración de transectos, inventarios y mediciones de detalle.

Trabajos de gabinete:

-  Consulta bibliográfica previa sobre las especies de vegetación de ribera que corresponden al tramo fluvial evaluado, así como sobre especies protegidas, en peligro, invasoras, etc.
-  Consulta de posibles proyectos de repoblación y revegetación en el tramo.
-  Identificar en fotografía aérea el estado general y la estratificación de las masas de vegetación de ribera.
-  Inventariar sobre fotografías aéreas y cartografía todos los elementos antrópicos que rompen la conectividad transversal del corredor ribereño en cada una de las márgenes del curso fluvial.
-  Medición de las longitudes de impacto, evaluando su importancia relativa respecto a la longitud del corredor en el sector.

Trabajos de campo:

-  Determinación mediante observaciones e inventarios de la estratificación vertical, la estructura en bandas, la naturalidad de la vegetación actual o la presencia de especies alóctonas, invasoras o repobladas.

-  Comprobación en campo de los elementos que rompen la conectividad transversal y búsqueda de otros posibles impactos no encontrados en la fotografía.
-  Observar si han penetrado ciertas especies vegetales (ruderales, climácicas) en bandas internas provocando desconexión dentro de la ribera

4.4. Valoración final y adaptabilidad del índice

El índice puede presentarse como ficha única que reúne los nueve parámetros con sus procedimientos de evaluación. Permite valorar de forma integrada la hidrogeomorfología de cada sector del sistema fluvial, para lo cual se suman los 9 valores obtenidos, con un máximo de 90 puntos. Pero también se puede utilizar el índice para valorar sólo la funcionalidad del sistema, o bien la calidad del cauce, o bien la calidad de las riberas. En tales casos se sumarán tan sólo los valores de los 3 parámetros que conforman estas evaluaciones, pudiéndose obtener un máximo de 30 puntos.

En función de los objetivos del estudio correspondiente, también es factible ponderar alguno de los parámetros evaluados duplicando o triplicando su valor.

También pueden variarse los valores de cada horquilla para establecer la escala típica de cinco intervalos. En principio, la propuesta recomendable es la siguiente:

- de 75 a 90 puntos calidad hidrogeomorfológica muy buena,
- de 60 a 74 puntos calidad hidrogeomorfológica buena,
- de 42 a 59 puntos calidad hidrogeomorfológica moderada,
- de 21 a 41 puntos calidad hidrogeomorfológica deficiente,
- de 0 a 20 puntos calidad hidrogeomorfológica muy mala,

Y para la valoración por separado de las calidades parciales (calidad funcional del sistema, calidad del cauce y calidad de las riberas) puede recomendarse la siguiente horquilla:

- de 25 a 30 puntos calidad hidrogeomorfológica muy buena,
- de 20 a 24 puntos calidad hidrogeomorfológica buena,
- de 14 a 19 puntos calidad hidrogeomorfológica moderada,
- de 7 a 13 puntos calidad hidrogeomorfológica deficiente,
- de 0 a 6 puntos calidad hidrogeomorfológica muy mala,

Se ofrece, en definitiva, un producto versátil que puede ser adaptado por los usuarios.

5. EJEMPLOS DE APLICACIÓN

5.1. Río Belagua

Curso fluvial del Pirineo navarro que constituye una de las cabeceras del río Esca, afluente del Aragón. Cuenta con un tramo de gran valor geomorfológico y ecológico, al tratarse del único cauce trenzado en Navarra y el más occidental de la cordillera pirenaica. En el ejemplo se aplica el índice IHG a este tramo, que se ubica entre las coordenadas de inicio 30N-678642-4754897 y de final 30N-676661-4756202, con una longitud de 2,5 km. En la siguiente fotografía aérea de 2008 (Sistema de Información Territorial de Navarra, SITNA) se observa el conjunto del tramo.



Los principales impactos, en qué medida determinan la aplicación del índice y la puntuación resultante se explican en la tabla de evaluación. El valor final obtenido por el sector fluvial es de 54 puntos, lo cual implica una calidad hidrogeomorfológica moderada. La calidad funcional se considera buena (23 puntos), debido principalmente a la ausencia de regulación hidrológica, pero las del cauce y ribera presentan valores inferiores (17 y 14 puntos respectivamente). Los impactos más nocivos son los dragados, las defensas precarias y la invasión del corredor ribereño para actividades agropecuarias, invasión que llega incluso a alcanzar en un tramo al propio cauce menor, que ha sido muy estrechado. El sistema fluvial ha respondido a estos impactos con una incisión acelerada que ha llegado a alcanzar el sustrato y ha obligado a reforzar el puente, como puede observarse en las fotografías.

A modo de sugerencia, se considera que podría mejorarse al menos en 15 puntos esta situación, alcanzándose el objetivo de una calidad hidrogeomorfológica buena, si se prohibieran en el tramo dragados y extracciones y se eliminara la invasión ejecutada en el cauce menor, restaurándose esa zona para que el río pueda auto-recuperarse.

TABLA DE VALORACIÓN. Caso de estudio: RÍO BELAGUA		
parámetro	explicación	puntos
Naturalidad del régimen de caudal	No existe ninguna alteración hidrológica. El cauce aparece seco, salvo a raíz de precipitaciones cuantiosas, por las importantes pérdidas kársticas de cabecera (karst de Larra).	10
Disponibilidad y movilidad de sedimentos	No hay presas de retención, pero en el propio tramo se han extraído con frecuencia importantes cantidades de material sólido para reparaciones en carreteras, consolidaciones de márgenes y construcción de pequeñas infraestructuras (-4)	6
Funcionalidad de la llanura de inundación	En menos del 50% de la longitud de la llanura de inundación hay defensas discontinuas y precarias, constituidas por acumulaciones de grava procedente de dragados (-2). El talud de la carretera que cruza el cauce ejerce de obstáculo puntual, en un tramo corto, para los flujos de crecida (-1).	7
CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA: BUENA		23
Naturalidad del trazado y de la morfología en planta	A lo largo de 275 m (entre el 10 y el 25% de la longitud del tramo) el trazado del cauce ha sido modificado por invasión desde las dos márgenes, reduciéndose su anchura natural de unos 80 m a unos 15 m. (-4)	6
Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales	Hay un puente y tres vados (-2) y la topografía del fondo ha sido muy alterada por dragados, extracciones y paso de vehículos en más del 25% de la longitud del sector (-3).	5
Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral	Hay algunas defensas de margen en las proximidades del puente (-2) y elementos no naturales (acumulación de acarreo y la citada intervención invasora) que modifican de forma notable la naturalidad localmente (-2)	6
CALIDAD DEL CAUCE: MODERADA		17
Continuidad longitudinal de las riberas	La continuidad es correcta en ambas márgenes a lo largo de 950 m de los 2.500 m que conforman el tramo, es decir, las discontinuidades se registran en el 72% de la longitud, pero no son permanentes (-6).	4
Anchura del corredor ribereño	La anchura media del corredor ribereño actual está en el 41% respecto de la potencial (-7)	3
Estructura, naturalidad y conectividad transversal del corredor ribereño	Hay algunas alteraciones de la estructura de la ribera por pastoreo y uso recreativo (-2). Algunos caminos de acceso a los vados rompen la conectividad transversal en la ribera (-1).	7
CALIDAD DE LAS RIBERAS: MODERADA		14
VALOR FINAL CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA: MODERADA		54



Zoom al tramo de 275 m en el que el cauce ha sido invadido. Fotografía aérea del SITNA.



Las extracciones de gravas y la invasión del cauce estrechándolo han originado una fuerte incisión, aflorando el sustrato arcilloso. Foto: Juan Pedro Martín Vide.



Otra imagen del tramo estrechado. Foto: Elena Díaz Bea



Refuerzo del puente aguas abajo a causa de la incisión registrada.
Foto: Juan Pedro Martín Vide

5.2. Curso bajo del Huerva

El río Huerva es afluente del Ebro por su margen derecha. Su curso bajo se extiende desde el embalse de Mezalocha hasta la confluencia con el Ebro, localizada en pleno casco urbano de Zaragoza. Este curso bajo coincide con la masa de agua 10.700, alcanzando una longitud total de 47 km.



Presa de Mezalocha. Foto: Alfredo Ollero.



Localización del sector.
Fuente: CHE y Martergeo

Los principales impactos, en qué medida determinan la aplicación del índice y la puntuación resultante se explican en la tabla de evaluación. El valor final obtenido por el sector fluvial es de 23 puntos, lo cual implica una calidad hidrogeomorfológica deficiente. La calidad funcional se considera muy mala (2 puntos), debido a la importantísima regulación hidrológica, pero las del cauce y ribera presentan valores ligeramente superiores (10 y 11 puntos respectivamente), que implican calidades deficientes.

Los impactos más importantes son los procedentes de los embalses, en especial el de Mezalocha, las defensas y la invasión de la llanura de inundación y del corredor ribereño, tanto agraria como urbana, con abundantes infraestructuras lineales. La dinámica lateral está totalmente eliminada. El sistema fluvial responde a estos impactos con alteraciones en su dinámica vertical (algunos tramos con incisión y otros con remansamiento y *embeddedness*) y con una desconexión creciente entre el cauce y las riberas.

La posibilidad de mejorar el valor del índice en el curso bajo del Huerva es muy complicada, dadas las importantes presiones e impactos. A modo de sugerencia, se realizan a continuación algunos comentarios. Habría que plantear una gestión hidrológica más natural de los embalses, que sería difícil por la complejidad de usos y consumos. Sería interesante realizar algún desembalse primaveral cuando no haya habido crecidas a lo largo del año anterior y si hubiera disponibilidad de agua. Las principales mejoras podrían obtenerse naturalizando en la medida de lo posible el cauce y las riberas y tratando de reconectarlos en tramos largos. Sería útil rebajar y suavizar los taludes de las márgenes, así como retrasar defensas adosadas, incrementando el espacio del río y permitiendo en algunos puntos la dinámica lateral. El desarrollo vegetal, que se vería también beneficiado, podría ser ayudado con plantaciones. Deberían retirarse del cauce y de las orillas abundantes escombros y obstáculos. También sería conveniente alejar del cauce algunas conducciones enterradas.



*Modificación de la margen derecha del cauce entre la presa de Mezalocha y la estación de aforo.
Foto: Alfredo Ollero*

TABLA DE VALORACIÓN. Caso de estudio: CURSO BAJO DEL HUERVA		
parámetro	explicación	puntos
Naturalidad del régimen de caudal	Hay alteraciones hidrológicas muy importantes (-10). Se producen desde el propio embalse de Mezalocha y desde el de Las Torcas, situado aguas arriba, con derivaciones para regadío. En el tramo final se incrementa y estabiliza el caudal desde el Canal Imperial de Aragón modificándose también el régimen estacional y el diario.	0
Disponibilidad y movilidad de sedimentos	Más del 75% de la cuenca vertiente cuenta con retención de sedimentos (-5). Hay síntomas notables de dificultades en la movilidad, dominando el <i>embeddedness</i> (-2). Igualmente hay desconexiones significativas con vertientes y afluentes, principalmente por procesos urbanos (-2).	1
Funcionalidad de la llanura de inundación	En más del 50% de la longitud de la llanura de inundación hay defensas discontinuas, generalmente adosadas al cauce (-4). Hay abundantes obstáculos transversales (-2) así como más de un 15% de terrenos sobreelevados e impermeabilizados (-2).	1
CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA: MUY MALA		2
Naturalidad del trazado y de la morfología en planta	En aproximadamente un 15% de la longitud del tramo el trazado del cauce ha sido modificado por pequeñas rectificaciones y retranqueos (-4). Hay algunos cambios producidos por la presa de Mezalocha (-1)	5
Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales	En el tramo hay varios azudes (-2), numerosos puentes, algunos vados y frecuentes obstáculos, como conducciones enterradas (-2), y huellas de limpiezas frecuentes y alteraciones de resaltes y remansos (-3).	3
Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral	En un 43% de la longitud del tramo hay defensas e infraestructuras adosadas a las márgenes (-4), abundantes escombros y modificaciones de las orillas (-2) y desequilibrios entre márgenes erosivas y sedimentarias (-2)	2
CALIDAD DEL CAUCE: DEFICIENTE		10
Continuidad longitudinal de las riberas	Se ha calculado que las discontinuidades, que en su mayoría no son permanentes, suponen el 70% de la longitud total de las riberas (-6).	4
Anchura del corredor ribereño	La anchura media del corredor ribereño actual se sitúa en el 50% respecto de la potencial (-6)	4
Estructura, naturalidad y conectividad transversal del corredor ribereño	Hay presiones sobre las riberas (pastoreo, uso recreativo, etc.) leves pero que afectan a más de la mitad de su superficie (-3). Se registran invasiones de especies (-1) y abundantes infraestructuras lineales que rompen la conectividad transversal del corredor (-3).	3
CALIDAD DE LAS RIBERAS: DEFICIENTE		11
VALOR FINAL CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA: DEFICIENTE		23



Defensa de gaviones y muy deficiente estado del cauce en Cuarte de Huerva. Foto: Alfredo Ollero.



Canalización asociada al proceso de urbanización en Cadrete. Foto: Alfredo Ollero.



Escollera en Cuarte de Huerva. Foto: Alfredo Ollero.



Las actuaciones en el cauce han provocado en muchos tramos la retención del flujo, el colapso del transporte sólido, la deposición de finos y la consiguiente proliferación de plantas helófitas. Santa Fe de Huerva. Foto: Alfredo Ollero.

5.3. Zoom: río Huerva en el casco urbano de Zaragoza

Sobre el curso bajo del Huerva, evaluado en el apartado anterior, se ha realizado un zoom a un tramo más concreto. Es el curso final del Huerva, dentro del casco urbano de Zaragoza, con una longitud de 8 km.

Los impactos son mayores al integrarse el río en la ciudad: caudal totalmente modificado, orillas artificiales, circulación del río a través de un túnel y desembocadura en el Ebro en un embalse provocado por el azud del Ebro en Vadorrey.

Como consecuencia de todo ello, el valor final obtenido es de 8 puntos, lo que implica una calidad hidrogeomorfológica muy mala. Las tres calidades parciales (funcional, del cauce y de las riberas) también se valoran muy malas (2, 5 y 1 puntos, respectivamente).



Tramo final rectilíneo y canalizado del río Huerva en Zaragoza, a unos metros de su confluencia en el río Ebro represado por el azud de Vadorrey, que por tanto también embalsa la corriente del Huerva. Foto: Alfredo Ollero.

TABLA DE VALORACIÓN. Caso de estudio: RÍO HUERVA EN ZARAGOZA		
parámetro	explicación	puntos
Naturalidad del régimen de caudal	Hay alteraciones hidrológicas muy importantes (-10) desde los embalses, con importantes detracciones. En este tramo urbano se incrementa y estabiliza el caudal desde el Canal Imperial de Aragón modificándose también el régimen estacional y el diario.	0
Disponibilidad y movilidad de sedimentos	Entre un 50% y un 75% de la cuenca vertiente cuenta con retención de sedimentos (-4). En el tramo hay algunos síntomas de dificultades en la movilidad, suavizados por el incremento de caudal (-1). La urbanización ha implicado una desconexión total con vertientes y afluentes (-3).	2
Funcionalidad de la llanura de inundación	La llanura de inundación ha desaparecido como tal. Las márgenes están totalmente canalizadas (-5), hay abundantes obstáculos (-2) y todo el espacio inundable está sobreelevado o impermeabilizado (-3)	1
CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA: MUY MALA		2
Naturalidad del trazado y de la morfología en planta	Ha habido cambios drásticos de trazado e incluso el río se ha soterrado (-8). Hay algunos cambios morfológicos indirectos derivados del aumento artificial de caudal (-1)	1
Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales	Hay un azud en el Ebro que afecta a menos del 25% de la longitud del Huerva en el sector (-1). Hay abundantes puentes y obstáculos transversales (-2). La topografía del fondo ha sido alterada por solados y limpiezas y por dragados más puntuales (-3).	4
Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral	El cauce ha sufrido una canalización total (-6), las márgenes no son naturales (-2) y no existe equilibrio entre márgenes erosivas y sedimentarias (-2)	0
CALIDAD DEL CAUCE: MUY MALA		5
Continuidad longitudinal de las riberas	Las discontinuidades son permanentes en un 60% y alcanzan un 90% de la longitud total de las riberas (-9).	1
Anchura del corredor ribereño	La anchura media del corredor ribereño actual es inferior al 40% de la potencial (-8). Como la continuidad longitudinal es 1, hay que restar -2.	0
Estructura, naturalidad y conectividad transversal del corredor ribereño	Hay presiones sobre las riberas muy graves y afectan a más de la mitad de su superficie (-4). Se registran invasiones importantes de especies (-2) y abundantes infraestructuras lineales que rompen totalmente la conectividad transversal del corredor (-4). Como la continuidad longitudinal es 1, hay que restar -2.	0
CALIDAD DE LAS RIBERAS: MUY MALA		1
VALOR FINAL CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA: MUY MALA		8

6. CONCLUSIONES

Los procesos geomorfológicos son la base fundamental del correcto funcionamiento de los cursos fluviales y los indicadores geomorfológicos son clave para determinar el estado ecológico de los ríos.

En Europa las alteraciones geomorfológicas de los ríos son muy importantes y extendidas, y no deberían seguir siendo obviadas, sino evaluadas y corregidas con urgencia.

El mayor reto de la restauración fluvial es la renaturalización de la dinámica geomorfológica, proceso complejo y largo en el tiempo que, a partir de la recuperación de una dinámica natural, debe ser realizado fundamentalmente por el río.

El índice IHG 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 hay escasos antecedentes que son índices de riberas no específicamente hidrogeomorfológicos.

Es un índice basado en las presiones e impactos antrópicos sobre los elementos, procesos y funciones hidrogeomorfológicas del sistema fluvial. Puede ser utilizado de forma completa o bien parcialmente para evaluar en exclusiva funcionalidad, calidad del cauce o calidad de la ribera. Puede ser adaptado a otros criterios u objetivos. Los esquemas de valoración que se emplean en cada uno de los nueve parámetros pretenden aportar a los evaluadores suficientes criterios como para ejecutar de forma rápida y directa el índice. No obstante, es necesario un conocimiento previo notable del sistema fluvial, siendo imprescindibles las observaciones y mediciones sobre fotografía aérea actual, así como la consulta de documentación sobre la cuenca, cartografía, fotos aéreas antiguas o datos hidrológicos. En campo requiere recorridos longitudinales completando fichas de impactos y mediciones y observaciones de detalle: indicadores de procesos, granulometría, vegetación, restos de crecidas, etc. La experiencia de trabajo en sistemas fluviales es imprescindible para la correcta aplicación del índice, aunque también se contempla la elaboración de una versión simplificada para evaluadores no expertos.

Los casos concretos en los que se ha probado el índice IHG a lo largo de su proceso de definición han dado resultados esperables, perfectamente acordes con los obtenidos en trabajos anteriores. En la primera aplicación sistemática realizada en la cuenca del Ebro de forma paralela a la preparación de este documento, se está ratificando la eficiencia del índice, así como su versatilidad y su facilidad de resolución cuando se cuenta con información suficiente.

GLOSARIO

Acorazamiento. Proceso que se da en la mayoría de los cauces aluviales, en los que las capas superficiales del lecho son de grano más grueso que las capas profundas. Es consecuencia del transporte selectivo, ya que en aguas medias y altas sólo el material fino es barrido, movilizado por la corriente, quedando el grueso entrelazado en superficie y formando un pavimento que sólo crecidas considerables pueden remover. Una situación extrema de acorazamiento se da al pie de muchas presas, donde se forman auténticos pavimentos (*armouring*) de grandes bloques, a modo de “lecho fósil”.

Acreción. Proceso de dinámica fluvial vertical que consiste en la elevación del fondo del cauce o lecho por dominancia de procesos de sedimentación sobre el mismo. Puede ser un proceso natural en tramos donde se reduce la pendiente o donde se incrementa el caudal sólido, o bien un proceso generado o favorecido por la acción humana, como ocurre aguas arriba de obstáculos transversales al cauce, como presas, puentes, vados o cualquier intervención que rompa el perfil longitudinal natural del curso fluvial. Se aplica también al proceso de elevación o crecimiento de las llanuras de inundación.

Bankfull. Situación de “orillas llenas”, a punto de desbordamiento, que define la anchura total del cauce menor y otros parámetros hidráulicos e hidrológicos. El nivel *bankfull* suele distinguirse en campo, tanto en la topografía de las orillas como observando la vegetación. El caudal *bankfull* en cada punto fluvial es tanto el caudal umbral de desbordamiento (por lo que puede ser utilizado para diferenciar aguas altas de crecidas) como el caudal generador (el de mayor eficiencia geomorfológica, ya que en *bankfull*, sin disipación por desbordamiento, se registra la máxima velocidad y energía de la corriente). El periodo de retorno medio del caudal *bankfull* se sitúa alrededor de los 1,5 años.

Barra. Depósito sedimentario fluvial que puede aparecer total o parcialmente sumergido dentro del cauce o conformando la orilla. Su tipología es muy variada: barras laterales (estrechas, adosadas a las márgenes), barras de meandro (con planta de media luna, formando la orilla convexa o interna), barras longitudinales (en el centro del cauce, formando una isla, aguas abajo en forma de punta de flecha), barras transversales (en realidad diagonales a la corriente, romboidales, propias de cauces trenzados), etc. Normalmente los sedimentos que forman la barra se ordenan de forma granodecreciente hacia aguas abajo. Gravas y arenas se imbrican y se orientan con el eje principal paralelo a la dirección de la corriente.

Barranco. Tipo de curso fluvial de pequeñas dimensiones pero bien marcado en el terreno y de caudal efímero o no permanente, solo alimentado a partir de precipitaciones intensas. A diferencia de la rambla, su lecho suele ser estrecho y encajado, adquiriendo una morfología transversal en forma de “V”.

Canalización. Sistema de defensa o encauzamiento en el que el cauce menor se artificializa mediante estructuras continuas en las dos orillas (diques continuos, escolleras, muros de hormigón, etc.), llegándose incluso en ocasiones al hormigonado del fondo. Como su propio nombre indica, el sistema fluvial se convierte en un canal. En muchas ocasiones la canalización implica también modificación del trazado de las orillas, generalmente reduciendo longitud, es decir, estableciendo un canal rectilíneo, incluyendo incluso la corta de meandros.

Cauce. Forma de relieve construida por el sistema fluvial para el transporte eficiente del caudal hídrico y sólido del mismo, de manera que su forma y dimensión están supeditadas a su función. Puede ser simple o múltiple, rectilíneo, meandriforme, trenzado, anastomosado, etc. Presenta cierto encajamiento que permite su delimitación y por él circula el caudal la mayor parte de los días del año. Sus caracteres (sección, profundidad, número de brazos, morfología de lecho y orillas, etc.) han sido conformados como respuesta de la interacción entre las condiciones geomorfológicas del terreno concreto por el que circula (litología, pendiente, etc.) y las características del flujo (cantidad, régimen, procesos extremos, caudal sólido, etc.).

Caudal sólido. Un curso fluvial es un medio con un flujo bifásico de agua y sedimento, procedente del propio cauce y de la cuenca. Ese flujo de sedimentos o conjunto de materiales sólidos transportados por un sistema fluvial constituye el caudal sólido, y puede medirse en diferentes tramos y periodos temporales (v. transporte fluvial).

Conectividad. Capacidad de tránsito o conexión a través de ambientes o ecosistemas dentro del complejo sistema fluvial. Siguiendo las tres dimensiones espaciales, puede distinguirse entre conectividad (o continuidad) longitudinal, de arriba a abajo, conectividad transversal, desde el cauce hasta las paredes del valle, y conectividad vertical, enlazando los ambientes superficiales con los hiporreicos y subterráneos. La conectividad es un valor fundamental en el funcionamiento geomorfológico y ecológico de los sistemas fluviales, además de valor ambiental y paisajístico.

Competencia fluvial. Tamaño máximo de partícula que puede transportar una corriente fluvial. Por tanto, está en función del caudal circulante, de la pendiente, de la morfología del lecho y de la viscosidad y densidad del agua. De la competencia dependen los procesos de erosión, transporte y sedimentación y, por tanto, las morfologías del lecho y las orillas. El transporte de las partículas se interrumpe y éstas se depositan cuando la competencia de la corriente fluvial es menor al tamaño de dichas partículas. La competencia de un curso fluvial va reduciéndose aguas abajo.

Corredor ribereño. Espacio que incluye el cauce y las riberas y cuyo límite externo viene a estar marcado por la propia movilidad lateral del cauce. Es la banda central de la llanura de inundación, la franja que integra el cauce, su cortejo de bosques ribereños

y los paleocauces más recientes. Cuenta con una altísima diversidad geoquímica, física y biológica y con un microclima especial de mayor humedad y menor amplitud térmica que puede contrastar notablemente con el exterior. Su papel como corredor ecológico es fundamental para la dispersión y migración de especies.

Corta. Proceso generalmente rápido, natural o provocado por el hombre, que supone un cambio radical del trazado del cauce, en el que la corriente fluvial busca un recorrido más corto y de mayor pendiente hacia aguas abajo, generalmente abandonando un tramo curvo y cortándolo por algún sector de su cuello o lóbulo. Es uno de los cambios más bruscos de la dinámica fluvial y son origen de cauces abandonados con una dinámica propia compleja y original. Provoca una importante revitalización de la erosión de las márgenes, ya que el cauce tenderá a recuperar otra vez su trazado sinuoso. Las cortas de origen natural son en una amplia mayoría consecuencia de procesos de crecida.

Crecida. Proceso natural, sin periodicidad y de grandes consecuencias ambientales, constituido por un incremento importante y repentino de caudal en un sistema fluvial. Lleva consigo un ascenso del nivel de la corriente, que puede desbordar el cauce menor para ocupar progresivamente el cauce mayor, hasta alcanzar un máximo o punta de caudal (caudal-punta) y descender a continuación. El incremento de caudal supone un incremento de los flujos de energía a través del sistema, que necesita estos procesos extremos para su propio equilibrio dinámico.

Cuenca. Es la parte de la superficie terrestre drenada por un sistema fluvial unitario. Su perímetro está constituido por la divisoria de aguas. Hay que entender la cuenca como un sistema natural abierto que recibe materia y energía desde el clima y los procesos endogenéticos y la pierde a través del caudal líquido y sólido. Constituye una unidad superficial básica en la planificación física y en la ordenación del territorio.

Dinámica fluvial. Conjunto de complejos procesos activos y de metamorfosis de los sistemas fluviales (migraciones y cambios de trazado de cauces, orillas erosionadas o con depósitos sedimentarios, etc.) tanto en su componente espacial (a lo largo del eje fluvial, así como transversal y vertical) como en su evolución temporal.

Dragado. Excavación en el propio lecho o en barras laterales, así como eliminación de islas, con el fin de dotar de mayor capacidad de desagüe al cauce. Es un sistema de defensa contrario a los habituales (motas, escolleras), ya en lugar de estrechar del cauce, el dragado trata de ensanchar o profundizar el mismo. Los materiales resultantes de los procesos de dragado son en ocasiones empleados en el refuerzo de las márgenes. Además de sus graves impactos geomorfológicos y ecológicos, un problema habitual en los dragados es la rapidez con que pueden llenarse de nuevo de acarreos las zonas dragadas, a raíz de cualquier crecida.

Erosión fluvial. Conjunto de procesos complejos de remoción física y química de los aluviones o del sustrato rocoso que conforman el cauce fluvial. La realiza el agua circulante por el sistema fluvial, ayudada por la gravedad, por lo que implica también un transporte de esos materiales desprendidos. La erosión fluvial suele clasificarse en lateral, lineal y remontante. Su resultado es el descenso del fondo, el retroceso de las orillas y el retroceso de la cabecera fluvial. Suele también distinguirse entre erosión transitoria (rápida, durante una crecida) y erosión permanente, a largo plazo, originada por procesos naturales o provocada por alguna acción humana.

Escollera. De piedra natural, de bloques o de escombros, es la defensa de margen más generalizada, resistente y fácilmente adaptable a la topografía de la orilla. Antiguamente se prefería la artificial, de bloques cúbicos de hormigón. La mejora de los transportes hizo retomar a partir de los años setenta el empleo de la escollera natural, más útil por trabarse mejor unas piedras con otras. Además de aislada, la escollera suele emplearse como basamento de otras obras de contención o como refuerzo de diques en los tramos en que éstos se aproximan a la margen.

Funcionalidad fluvial. Cumplimiento por parte de un sistema fluvial de todo el conjunto de funciones naturales que ejerce y que son útiles e imprescindibles en el planeta. Se trata de su función principal como sistema de transporte, así como de otras asociadas (corredor ecológico, corredor bioclimático, hábitat, sistema regulador de escorrentías extremas, sistema de depuración, sistema regulador de la salinidad marina y de la dinámica litoral, etc.) y otras que se manifiestan localmente (ecotono, barrera, filtro, fuente y sumidero de agua, partículas, organismos, nutrientes, etc.). Son funciones que se alternan en el tiempo sobre un mismo espacio, logrando una enorme eficiencia en los intercambios de materia y energía.

Geomorfología fluvial. Disciplina científica que estudia las formas de relieve de los cursos fluviales y los procesos de erosión, transporte y sedimentación que dirigen las complejas dinámicas longitudinales, laterales y verticales de los cauces en el espacio y en el tiempo.

Granulometría. Es el tamaño de los sedimentos fluviales, parámetro básico en su caracterización. El estudio granulométrico de los sedimentos aporta abundante información sobre el funcionamiento del sistema fluvial, destacando su utilidad para evaluar el transporte sólido. Hay diferentes procedimientos de toma de muestras y medición: conteo, tamizaje, volumétrico, etc. Suele medirse la granulometría superficial y la subsuperficial. Por lo general, la fracción gruesa se mide directamente en campo, mientras que la fina (arcillas, limos) se lleva a laboratorio. Existen diversos índices y procedimientos estadísticos que llevan a la interpretación de resultados.

Incisión. Proceso de dinámica fluvial vertical que consiste en la profundización del fondo del cauce por dominancia de procesos de erosión lineal o remontante sobre el mismo. Puede ser un proceso natural en tramos donde se incrementa la pendiente y/o el caudal líquido o donde se reduce el caudal sólido (aguas limpias). En general todos los ríos tienden a la incisión en busca de su nivel de base, por lo que es mucho más frecuente que su contrario, la acreción. También puede ser un proceso generado o favorecido por la acción humana, como ocurre aguas abajo de obstáculos transversales al cauce (presas o puentes) o como consecuencia de dragados.

Indicadores hidromorfológicos. Los indicadores hidromorfológicos según los define la Directiva 2000/60/CE son el régimen hidrológico (incluyendo: caudales e hidrodinámica del flujo de las aguas y conexión con masas de agua subterránea), la continuidad del río y las condiciones morfológicas (incluyendo: variación de la profundidad y anchura del río, estructura y sustrato del lecho del río y estructura de la zona ribereña). Esta es la exposición literal de la Directiva, pero estos indicadores pueden llevar a conflictos en su aplicación, debido a su insuficiente definición y concreción.

Laminación. Proceso de autorregulación natural de los caudales de crecida, ejercido en la llanura de inundación, recinto de disipación de energía. La expansión del desbordamiento fuera del cauce menor origina decrementos de velocidad generalizados, así como una distribución compleja del flujo sobre la superficie inundada, retenciones, corrientes de retorno, concentraciones hídricas sobre brazos secundarios y abandonados, etc. Como consecuencia de todo ello el caudal punta de la crecida disminuye o “se lamina” y el tiempo de paso de la onda de avenida se incrementa, decelerándose el proceso.

Llanura de inundación. Forma de relieve coincidente con el cauce mayor de un sistema fluvial, construida por la corriente en su régimen de crecidas, de topografía básicamente llana, generalmente con suave tendencia a la concavidad, aunque las hay de sección transversal convexa. Durante las avenidas funciona como recinto de disipación de energía de las aguas desbordadas y de almacenamiento de caudal, con un efecto laminador que repercute en la reducción del caudal punta con el aplanamiento del hidrograma aguas abajo. También constituye un recinto de decantación de los materiales finos que la corriente transportaba en suspensión, decantación responsable del crecimiento vertical de los depósitos y de su fertilidad. Es, por tanto, una forma de relieve de acreción o acumulación.

Mota. Dique longitudinal insumergible empleado para evitar la inundación de la llanura inundable, que constituye el sistema de defensa más antiguo. No sirve contra la erosión de las márgenes del cauce sino para contener caudales de crecida, pretendiendo con su elevación impedir el desbordamiento. Suelen presentar un perfil transversal trapezoidal y en muchos casos son aprovechadas como camino, mientras que en otros llevan

adosadas acequias. El material de que constan es tierra compactada, que puede estar recubierta por gravas en superficie o reforzada con gaviones, hormigón, escollera, etc.

Rambla. Tipo de curso fluvial de caudal no permanente propio de medios semiáridos. Su lecho suele ser ancho y conformado por aluviones mal clasificados, resultado de un transporte espasmódico que se activa en los escasos episodios torrenciales. En vez de encajarse en “V” como los barrancos, las ramblas suelen presentar márgenes escarpadas, próximas a la verticalidad, fácilmente erosionables por la acción fluvial. Las ramblas suelen presentar complejas redes de drenaje, rápidas concentraciones de caudal y potentes descargas de agua y sedimentos.

Régimen hidrológico. Variación anual del caudal medio de un río, constituyendo un valor de síntesis de las variaciones estacionales principales del funcionamiento hidrológico de un sistema fluvial, que se representa gráficamente. Los seres vivos acuáticos viven adaptados a este régimen que fluctúa a lo largo del año. En suma, se trata de un indicador hidrológico que explica la estacionalidad de los caudales y que muestra si ésta es natural o puede estar afectada por actuaciones humanas como la regulación.

Riberas. Son los dos terrenos adyacentes al cauce, uno en cada orilla, y conforman junto con el cauce el corredor ribereño. Las riberas son un mosaico de terrenos definidos por el tipo de sedimento, su altitud relativa respecto del cauce y la edad o estado sucesional de la vegetación. Se pueden definir también como ecotonos o ricos ecosistemas transitorios entre el ecosistema acuático de la corriente fluvial y el ecosistema terrestre del sector más externo del fondo del valle. El terreno de ribera, de topografía irregular labrada por las aguas de desbordamiento, está directamente influenciado por el flujo subterráneo controlado por la corriente superficial, nivel freático elevado que es el responsable del desarrollo de vegetación.

Río. Sistema fluvial que cuenta casi siempre con circulación hídrica superficial, salvo en estiajes extremos. Es continuo longitudinalmente, aunque puede dividirse en tramos o sectores funcionales internamente homogéneos pero diferentes entre sí en sus caracteres hidromorfológicos. Es complejo transversalmente, pudiendo estar conformado, si el valle lo permite, por un cauce menor, unas riberas y una llanura de inundación.

Sedimentación fluvial. Conjunto de procesos geomorfológicos de detención y acumulación de los materiales transportados por el sistema fluvial. La sedimentación se produce dentro del propio curso fluvial, en sectores o ambientes donde la energía del flujo es inferior al umbral de competencia, imposibilitando que los materiales puedan seguir siendo movilizados. Los sedimentos suelen quedar clasificados por tamaños y en su fracción gruesa suelen encontrarse imbricados, es decir, acostados unos sobre otros con el eje principal paralelo a la dirección de la corriente (v. barra).

Sistema fluvial. Integrado en los ciclos del agua, de la materia sólida y biogeoquímicos, es un complejo mecanismo hidrológico, geomorfológico y ecológico de movilización o conducción superficial de las aguas continentales, acompañadas de los materiales que transportan, sedimentos y nutrientes, en la dirección de la pendiente hasta que son vertidas en los océanos. Cuenta con una enorme capacidad de transporte de masa y energía. Son sistemas abiertos, enormemente dinámicos en el espacio y en el tiempo y considerablemente complejos, de manera que las interrelaciones entre elementos son innumerables.

Talweg. Término alemán que define la línea que une los puntos topográficamente más bajos de un valle fluvial. Se trata por tanto, en casi todos los casos, de la incisión más profunda del lecho a lo largo de todo el curso fluvial. El *talweg* coincide con la línea de máxima velocidad de la corriente.

Torrente. Curso fluvial de fuerte pendiente (por encima del 6%) que discurre por terreno montañoso, alimentado principalmente por lluvias intensas o fusión nival, pudiendo permanecer seco temporalmente. Como sistema fluvial de fuerte energía cuenta con competencia para transportar abundante carga sólida, y su lecho suele ser rocoso o conformado por sedimentos aluviales y coluviales (procedentes directamente de las vertientes) de notable tamaño. La fuerte pendiente implica también que el proceso geomorfológico dominante sea la incisión o profundización del lecho, que puede originar a su vez procesos en las laderas inestables que conectan con el cauce.

Transporte fluvial. Proceso geomorfológico de movilización del caudal sólido a lo largo del sistema fluvial. El sedimento puede ser transportado en suspensión (sostenido por la turbulencia del flujo) o bien por el fondo (rodando, saltando o deslizándose). Cuanto más intensa es la acción de la corriente (mayor caudal), mayor es el tamaño del material de fondo que es puesto en suspensión y transportado así. Nutrientes y contaminantes pueden ser movilizados en una tercera modalidad de transporte: la disolución.

Valle. Forma de relieve generada por incisión o encajamiento de un sistema fluvial. De morfología muy variada, en general es alargado en forma de corredor lineal y confinado entre elevaciones. En líneas generales todo valle cuenta con dos vertientes y una zona inferior encajada, el fondo de valle, ligada a la dinámica fluvial actual, que es la que contiene la llanura de inundación, el corredor ribereño y el cauce funcional.

Vertiente. Superficie topográfica entre los cordales de la divisoria de aguas y los fondos de valle. Conformar un sistema geomorfológico abierto propio, con procesos de erosión, transporte y sedimentación (periglaciares, de gravedad, de arroyada, edáficos, etc.), interconectado con los sistemas fluviales que pueden desarrollarse en su interior

(cárcavas, barrancos) y a su pie, de manera que la mayor parte de los sedimentos generados en las vertientes terminan siendo evacuados por la red fluvial

REFERENCIAS

- Adam, P.; Malavoi, J.R.; Debiais, N. (2007) *Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau*. Agence de l'Eau Seine-Normandie, 293 p., Nanterre.
- Agences de l'Eau y Ministère de l'Environnement (1998) *SEQ-Physique: a system for the evaluation of the physical quality of watercourses*. 15 p., Paris.
- Anderson, J.R. (1993) *State of the Rivers Project. Report 1: Development and validation of the methodology*. Queensland Department of Primary Industries, 64 p., Brisbane.
- Ballarín, D., Mora, D., Díaz Bea, E., Echeverría, M.T., Ibisate, A., Montorio, R., Ollero, A. y Sánchez Fabre, M. (2006) Valoración hidrogeomorfológica de los cursos fluviales de Aragón. *Geographicalia*, 49, 51-69.
- Binder, W. (2005) The rehabilitation of the Isar in Munich: a channelized river back to nature. In Toubier, J.T. y Schanze, J. (Eds.) *Urban river rehabilitation: proceedings of the International Conference on Urban River Rehabilitation*, 290-295, Dresden.
- Bizjak, A. y Mikoš, M. (2004) Synthesis 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: 325-330, Madrid.
- Bonada, N., Prat, N., Munné, A., Plans, M., Solà, C., Álvarez, M., Pardo, I., Moyà, G., Ramón, G., Toro, M., Robles, S., Avilés, J., Suárez, M.L., Vidal-Abarca, M.R., Mellado, A., Moreno, J.L., Guerrero, C., Vivas, S., Ortega, M., Casas, J., Sánchez-Ortega, A., Jáimez-Cuéllar, P. y Alba-Tercedor, J. (2002) 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), 13-33.
- Boon, P.J., Wilkinson, J. y Martin, J. (1998) The application of SERCON (System for Evaluating Rivers for Conservation) to a selection of rivers in Britain. *Aquatic Conservation. Marine and Freshwater Ecosystems*, 8(4): 597-616.
- Brandt, S.A. (2000) Classification of geomorphological effects downstream of dams. *Catena*, 40: 375-401.
- Bravard, J.P. et Gilvear, D.J. (1993) Structure hydro-géomorphologique des hydrosystèmes. In Amoros, C. et Petts, G.E. (Coords.): *Hydrosystèmes fluviaux*, 83-103, Masson, Paris.
- Bravard, J.P., Kondolf, G.M. y Piégay, H. (1999) Environmental and societal effects of channel incision and remedial strategies. In Darby, S.E. y Simon, A. (Eds.) *Incised river channels. Processes, forms, engineering and management*, 303-341, Wiley, Chichester.
- Brierley, G.J. y Fryirs, K.A. (2005) *Geomorphology and river management. Applications of the River Styles Framework*. Blackwell, 398 p., Oxford.
- Brinson, M.M., Rheinhardt, R.D., Hauer, F.R., Lee, L.C., Nutter, W.L., Smith, R.D. y Whigham, D. (1995) *A guidebook for application of hydrogeomorphic assessments to riverine wetlands*. US Army Corps of Engineers, Wetlands Research Program, Technical Report WRP-DE-11. 112 p. + appendix, Vicksburg.
- Buffagni, A. y Kemp, J.L. (2002) Looking beyond the shores of the United Kingdom: addenda for the application of River Habitat Survey in Southern European rivers. *Journal of Limnology*, 61(2), 199-214.
- Buijse, A.D., Coops, H., Staras, M., Jans, L.H., Geest, G.J. van, Grift, R.E., Ibelings, B.W., Oosterberg, W. y Roozen, F.C.J.M. (2002) Restoration strategies for river floodplains along large lowland rivers in Europe. *Freshwater Biology*, 47: 889-907.
- Danés, C. (coord., 2005) *Manual para la identificación de las presiones y análisis del impacto en aguas superficiales*. Ministerio de Medio Ambiente, 71 p., Madrid.

- Davies, N.M., Norris, R.H. y Thoms, M.C. (2000) Prediction and assessment of local stream habitat features using large-scale catchment characteristics. *Freshwater Biology*, 45, 343-369.
- Díaz Bea, E. y Ollero, A. (2005) Metodología para la clasificación geomorfológica de los cursos fluviales de la cuenca del Ebro. *Geographicalia*, 47, 23-45.
- Downs, P.W. y Gregory, K.J. (2004): *River channel management. Towards sustainable catchment hydrosystems*. Arnold, London.
- Environment Agency (2003) *A refined geomorphological and floodplain component. River Habitat Survey FD 1921, GeoRHS fieldwork survey form and guidance manual*. DEFRA/EA Joint R&D – Project 11793, prepared by University of Newcastle, 51 p., Warrington,
- Fleischhacker, T. y Kern, K. (2002) *Ecomorphological survey of large rivers*. German Federal Institute of Hydrology, 41 p. + appendix, Koblenz.
- García de Jalón, D. y González del Tánago, M. (2005) Critical approach to reference conditions current evaluation methods in rivers and an alternative proposal. In *Proceedings COST 626 European Aquatic Modelling Network. Final Meeting*. 91-93, Silkeborg.
- González del Tánago, M. (2004) La restauración de los cauces y riberas fluviales. *Mètode*, Universitat de València (www.uv.es/metode/anuario2004/124_2004.htm).
- González del Tánago, M., García de Jalón, D., Lara, F. y Garilleti, R. (2006) Índice RQI para la valoración de las riberas fluviales en el contexto de la Directiva Marco del Agua. *Ingeniería Civil*, 143, 97-108.
- González del Tánago, M. y García de Jalón, D. (2007) *Restauración de ríos. Guía metodológica para la elaboración de proyectos*. Ministerio de Medio Ambiente, 318 p., Madrid.
- Graf, W.L. (1988) Definition of floodplains along arid region rivers. In Baker, V.R., Kochel, C.R. y Patton, P.C. (Eds.) *Flood Geomorphology*, 231-242, Wiley, New York.
- Hauer, F.R., Cook, B.J., Gilbert, M.C., Clairain, E.J.Jr. y Smith, R.D. (2002) *A regional guidebook for applying the hydrogeomorphic approach to assessing wetland functions of intermontane prairie pothole wetlands in the Northern Rocky Mountains*. US Army Corps of Engineers, Wetlands Research Program, Technical Report ERDC-EL TR-02-7. 103 p. + appendix, Vicksburg.
- Holmes, N.T.H. y Nielsen, M.B. (1998) Restoration of the rivers Brede, Cole and Skerne: a joint Danish and British EU-LIFE demonstration project. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 8: 185-196.
- Jansen, A., Robertson, A., Thompson, L. y Wilson, A. (2005) Rapid appraisal of riparian condition. Version two. *River and Riparian Land Management, Technical Guideline 4A*. Land & Water Australia, 18 p., Canberra.
- Junk, W.J., Bayley, P.B. y Sparks, R.E. (1989) The flood-pulse concept in river-floodplain systems. *Special Publication of the Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 106: 110-127.
- Kamp, U., Bock, R. y Hölzl, K. (2004) Assessment of river habitat in Brandenburg, Germany. *Limnologia*, 34, 176-186.
- Kline, M., Alexander, C., Pomeroy, S., Jacquith, S., Springston, G., Cahoon, N. y Becker, L. (2003) *Stream Geomorphic Assessment Protocol Handbooks. Remote sensing and field surveys techniques for conducting watershed and reach level assessments*. Vermont Agency of Natural Resources, 151 p.
- Kondolf, G.M. (1997) Hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels. *Environmental Management*, 21(4): 533-551.
- Kondolf, G.M., Smeltzer, M. y Kimball, L. (2002) *White paper: freshwater gravel mining and dredging issues*. Washington Dpts. of Fish and Wildlife, Ecology and Transportation, 122 p.

- Kronvang, B., Svendsen, L.M., Brookes, A., Fisher, K., Moller, B., Ottosen, O., Newson, M.D. y Sear, D.A. (1998) Restoration of the rivers Brede, Cole and Skerne: a joint Danish and British EU-LIFE demonstration project. 3: Channel morphology, hydrodynamics and transport of sediment and nutrients. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 8: 209-222.
- Ladson, A.R., Doolan, J., White, L.J., Metzeling, L. y Robinson, D. (1996) Index of Stream Condition as a tool to aid management of rivers. *23th Hydrology and Water Resources Symposium*. 325-332. Institution of Engineers, Hobart.
- Larsen, T. y Frier, J.O. (1999) A restoration project for the river Skjern, Denmark. In Ureña, J. M. (Ed.) *River design and environmental protection in Europe*, 579-666. Universidad de Cantabria, Santander.
- LAWA. 2000. *Gewässerstrukturgütebewertung in der Bundesrepublik Deutschland, Verfahren für kleine und mittelgroße Fließgewässer*. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, 54 p., Berlin.
- Lehotský, M. y Grešková, A. (2004) *Hydromorphological river survey and assessment (Slovakia)*. Slovak Hydrometeorological Institute, 37 p., Bratislava.
- Liébault, F. y Piégay, H. (2002) Causes of 20th century channel narrowing in mountain and piedmont rivers of Southeastern France. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27: 425-444.
- Malavoi, J.R., Bravard, J.P., Piégay, H., Héroin, E. et Ramez, P. (1998) *Determination de l'espace de liberté des cours d'eau*. SDAGE Rhône-Méditerranée-Corse, 39 p., Lyon.
- Martín Vide, J.P. (2006) *Ingeniería de ríos*. Edicions UPC, 381 p., Barcelona (2^a ed.).
- McGinnity, P., Mills, P., Müller, M. y Roche, W. (2005) *Water Framework Directive: a desk study to determine a methodology for the monitoring of the 'morphological condition' of Irish rivers*. Environmental Protection Agency, 226 p. (synthesis report), Wexford.
- Moseley, R.K. (1999) *Riparian inventory and proper functioning condition assessment of the Rocking M Wildlife Conservation Easement Area*. Idaho Department of Fish and Game, 147 p.
- Muhar, S., Unfer, G., Schmutz, S., Jungwirth, M., Egger, G. y Angermann, K. (2004) 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*, I: 300-305, Madrid.
- Munné, A., Solà, C. y Prat, N. (1998) QBR: un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. *Tecnología del agua*, 175, 20-37.
- Munné, A., Solà, C. y Pagés, J. (2006) *HIDRI: Protocolo para la valoración de la calidad hidromorfológica de los ríos*. Agència Catalana de l'Aigua, 160 p., Barcelona.
- Newson, M.D. y Large, A.R.G. (2006) 'Natural' rivers, 'hydromorphological quality' and river restoration: a challenging new agenda for applied fluvial geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31: 1606-1624.
- Newton, B., Pringle, C. y Bjorkland, R. (1998) *Stream Visual Assessment Protocol*. National Water and Climate Center, 36 p., Washington.
- Ollero, A. (2003) El Ebro quiere volver a ser libre. Una dinámica fluvial activa es la clave para que haya ríos vivos. *Quercus*, 213, 34-38.
- Ollero, A. (2007) *Territorio fluvial. Diagnóstico y propuesta para la gestión ambiental y de riesgos en el Ebro y los cursos bajos de sus afluentes*. Bakeaz y Fundación Nueva Cultura del Agua, 255 p., Bilbao.
- Ollero, A. (2008) Alteraciones geomorfológicas de los ríos en Europa y principios para la restauración de la dinámica fluvial. En González del Tánago (Coord.): *Ríos y sostenibilidad*. Semana Temática "Agua y salud" de la Tribuna del Agua de Expo Zaragoza 2008.

- Ollero, A., Cadiñanos, J.A., Díaz Bea, E., Elosegí, U., García Murga, F., Ibisate, A., Meaza, G., Ormaetxea, O. y Sáenz de Olazagoitia, A. (2001): Análisis y diagnóstico del sistema fluvial y propuestas para la gestión de un tramo regulado en el río Cinca (Huesca). *Actas del XVII Congreso de Geógrafos Españoles*, 185-188, A.G.E., Oviedo.
- Ollero, A., Echeverría, M.T., Sánchez Fabre, M., Auría, V., Ballarín, D. y Mora, D. (2003) Metodología para la tipificación hidromorfológica de los cursos fluviales de Aragón en aplicación de la Directiva Marco de Aguas (2000/60/CE). *Geographicalia*, 44, 7-25.
- Ollero, A., Ballarín, D., Díaz Bea, E., Mora, D. y Sánchez Fabre, M. (2006) Calidad hidromorfológica de los ríos de Aragón. *Tecnología del Agua*, 278, 36-41.
- Ollero, A., Ballarín, D., Díaz Bea, E., Mora, D., Sánchez Fabre, M., Acín, V., Echeverría, M.T., Granado, D., Ibisate, A., Sánchez Gil, L. y Sánchez Gil, N. (2007) Un índice hidrogeomorfológico (IHG) para la evaluación del estado ecológico de sistemas fluviales. *Geographicalia*, 52: 113-141.
- Ollero, A., Ballarín, D., Díaz Bea, E., Mora, D., Sánchez Fabre, M., Acín, V., Echeverría, M.T., Granado, D., Ibisate, A., Sánchez Gil, L. y Sánchez Gil, N. (2008) IHG: un índice para la valoración hidrogeomorfológica de sistemas fluviales. *Limnetica*, 27(1): 171-188.
- Pardo, I., Álvarez, M., Casas, J., Moreno, J.L., Vivas, S., Bonada, N., Alba-Tercedor, J., Jáimez-Cuéllar, P., Moyà, G., Prat, N., Robles, S., Suárez, M.L., Toro, M. y Vidal-Abarca, M.R. (2002) El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat. *Limnetica*, 21(3-4): 115-133.
- Parsons, M., Thoms, M.C. y Norris, R. (2002) *Australian river assessment system review of physical river assessment methods. A biological perspective*. Monitoring River Health Initiative, Technical Report nº 21, Commonwealth of Australia and University of Canberra, 59 p.
- Pedersen, M.L. y Baattrup-Pedersen, A. (2003) *Økologisk overvågning i vandløb og på vandløbsnære arealer under NOVANA 2004-2009*. Danmarks Miljøundersøgelser. Teknisk Anvisning fra DMU nr. 21, 88 p.
- Petersen, R.C.Jr. (1992) The RCE: a Riparian, Channel, and Environmental Inventory for small streams in the agricultural landscape. *Freshwater Biology*, 27, 295-306.
- Piégay, H., Cuaz, M., Javelle, E. y Mandier, P. (1997) Bank erosion management based on geomorphological, ecological and economic criteria on the Galaure River, France. *Regulated Rivers: Research & Management*, 13: 433-448.
- Prichard, D., Barrett, H., Cagney, J., Clark, R., Fogg, J., Gebhart, K., Hansen, P.L., Mitchell, B. y Tippy, D. (1993, rev. 1995) *Process for assessing proper conditions*. Bureau of Land Management Service Center, 51 p., Denver.
- Rankin, E.T. (1991) The use of the qualitative habitat evaluation index for use attainability studies in streams and Rivers in Ohio. In Gibson, G. (ed.) *Biological criteria: research and regulation*. EPA 440/5-91-005. Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency. 167 p., Washington.
- Rankin, E.T. (1995) Habitat indices in water resource quality assessments. In Davis, W.S. y Simon, T.P. (eds.) *Biological assessment and criteria: tools for water resource planning and decision making*, 181-208, Lewis Publishers, Boca Raton.
- Raven, P.J., Boon, P.J., Dawson, F.H. y Ferguson, A.J.D. (1998) Towards an integrated approach to classifying and evaluating rivers in UK. *Aquatic Conservation. Marine and Freshwater Ecosystems*, 8(4), 383-393.
- Raven, P.J., Holmes, N.T.H., Charrier, P., Dawson, F.H., Naura, M. y Boon, P.J. (2002) Towards a harmonized approach for hydromorphological assessment of rivers in Europe: a qualitative comparison of three survey methods. *Aquatic Conservation. Marine and Freshwater Ecosystems*, 12, 405-424.

- Rosgen, D.L. (1994) A classification of natural rivers. *Catena*, 22(3), 169-199.
- Rosgen, D.L. (1996) *Applied river morphology*. Wildland Hydrology Books, 314 p., Pagosa Springs.
- Rowntree, K.M. y Ziervogel, G. (1999) *Development of an index of stream geomorphology for the assessment of river health*. NAEBP Report Series 7. Institute for Water Quality Studies. 23 p., Pretoria.
- Schiemer, F., Baumgartner, C. y Tockner, K. (1999) Restoration of floodplain rivers: the Danube restoration project. *Regulated Rivers: Research and Management*, 15: 231-244.
- Sear, D.A. y Newson, M.D. (2003) Environmental change in river channels: a neglected element. Towards geomorphological typologies, standards and monitoring. *Science of the Total Environment*, 310: 17-23.
- Shields, F.D.Jr., Cooper, C.M., Knight, S.S. y Moore, M.T. (2003) Stream corridor restoration research: a long and winding road. *Ecological Engineering*, 20: 441-454.
- Siligardi, M. (coord., 2003) *I.F.F. Indice de funzionalità fluviale*. Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, 225 p., Roma.
- Siligardi, M. e Maiolini, B. (1993) L'inventario delle caratteristiche ambientali dei corsi d'acqua alpini: guida all'uso della scheda RCE-2. *Biologia Ambientale*, VII (30), 18-24.
- Smith, R.D. y Wakeley, J.S. (2001) Developing assessment models. *Hydrogeomorphic approach to assessing wetland functions: guidelines for developing regional guidebooks*. US Army Corps of Engineers, Wetlands Research Program, Technical Report ERDC-EL TR-01-30. 31 p., Vicksburg.
- Surian, N. y Rinaldi, M. (2003) Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy. *Geomorphology*, 50: 307-326.
- Tartar, P. (2001) *Mise en oeuvre du système d'évaluation de la qualité physique des cours d'eau sur l'Andelle. Note de synthèse*. DIREN Haute-Normandie, 8 p.
- Tockner, K., Malard, F. y Ward, J.V. (2000) An extension of the Flood Pulse Concept. *Hydrological Processes*, 14: 2861-2883.
- Tockner, K. y Stanford, J.A. (2002) Riverine flood plains: present state and future trends. *Environmental Conservation*, 29: 308-330.
- Ureña, J.M. y Ollero, A. (2000) Criterios y propuestas para la ordenación de áreas fluviales. *Ciudad y territorio, Estudios Territoriales*, XXXII(126): 689-710.
- WeiB, A., Matouskova, M. y Matschullat, J. (2008) Hydromorphological assessment within the EU-Water Framework Directive. Trans-boundary cooperation and application to different water basins. *Hydrobiologia*, 603: 53-72.
- Werritty, A. (1997) Short-term changes in channel stability. In Thorne, C.R., Hey, R.D. y Newson, M.D. (eds.) *Applied fluvial geomorphology for river engineering and management*, 47-65, Wiley, Chichester.
- White, L.J. y Ladson, A.R. (1999) *An Index of Stream Condition Reference Manual*. Department of Natural Resources and Environment, 130 p., Melbourne.
- Williams, P.B. (2001) River engineering versus river restoration. In Hayes, D.F. (Ed.): *ASCE Wetlands Engineering & River Restoration Conference*, American Society of Civil Engineers, Reno.
- Yetman, K.T. (2001) *Stream corridor assessment survey*. Watershed Restoration Division, Dept. of Natural Resources, 68 p., Annapolis, Maryland.

ANEXO: FICHA DE CUMPLIMENTACIÓN DEL IHG

