

PRINCIPIOS BASICOS PARA LA RESTAURACION DE RIOS Y RIBERAS

MARTA GONZÁLEZ DEL TÁNAGO¹ y D. GARCÍA DE JALÓN¹

RESUMEN

Ante su actual estado de deterioro, en este artículo se plantea la necesidad de restaurar los cauces y riberas fluviales, tendiendo a una reconciliación con el medio ambiente.

Se propone la sustitución de los métodos tradicionales de ingeniería fluvial por métodos de ingeniería más acorde con los valores ecológicos de los ecosistemas fluviales, que permiten igualmente alcanzar los objetivos de aprovechamiento y control de los ríos pero respetan su integridad biológica, o mitigan los impactos producidos por la gestión de los mismos.

Finalmente se establecen diez principios de actuación en la restauración de los ríos, que tratan de recoger el concepto de equilibrio o dependencia del río con su cuenca vertiente, la relación entre la diversidad de hábitats y la biodiversidad, y la necesidad de restaurar los ríos dentro de un proceso de planificación hidrológica a corto, medio y largo plazo.

INTRODUCCION

Cada vez es más patente, y así lo demuestran las reuniones y conclusiones internacionales sobre el Medio Ambiente, la necesidad de conciliar el desarrollo de las poblaciones humanas con los demás factores ambientales de la Naturaleza (Agenda 21, Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Río de Janeiro 1992).

Refiriéndonos a los ríos, podríamos decir que la necesidad de su restauración surge ante un estado de degradación tal que implica, a modo de ejemplo, la contaminación de sus aguas que imposibilita su uso para consumo doméstico o para el mantenimiento de poblaciones piscícolas, o la perturbación de su comportamiento hidrológico, que origina periódicas inundaciones y exige permanentes inversiones para obras de defensa de márgenes.

En la actualidad, y especialmente en los países más desarrollados, resulta muy evidente la necesidad de prevenir la contaminación de las aguas, o de proceder a su depuración; pero quizá todavía

no lo es tanto la de restaurar la morfología y procesos fluviales, recuperando los bosques de ribera, con el fin de resolver de forma definitiva el problema de desagüe de las avenidas, o el de inestabilidad de los cauces por problemas de erosión y sedimentación.

En este artículo se trata de resaltar la conveniencia de restaurar los cauces y las riberas de los ríos, utilizando estrategias de control acordes con la dinámica de los procesos fluviales, y de establecer unos principios básicos de actuación, considerando la estructura y funcionamiento de los ríos en condiciones naturales.

La puesta en práctica de los principios de la Ley de Aguas y las directrices del Plan Hidrológico Nacional de nuestro país han fomentado, en los últimos años, numerosos trabajos de restauración de ríos y riberas, a cuyo desarrollo y mejor conocimiento tratamos de contribuir con las ideas que aquí presentamos.

INGENIERIA HIDRAULICA: PRACTICAS TRADICIONALES

El excesivo desarrollismo de las décadas posteriores a las últimas guerras, motivado por un impulso a la «producción» y avance de las tecno-

¹ E.T.S. de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid. 2804 MADRID.

PRESTAMOS DEL BANCO MUNDIAL EN PROYECTOS HIDRAULICOS POR SECTORES

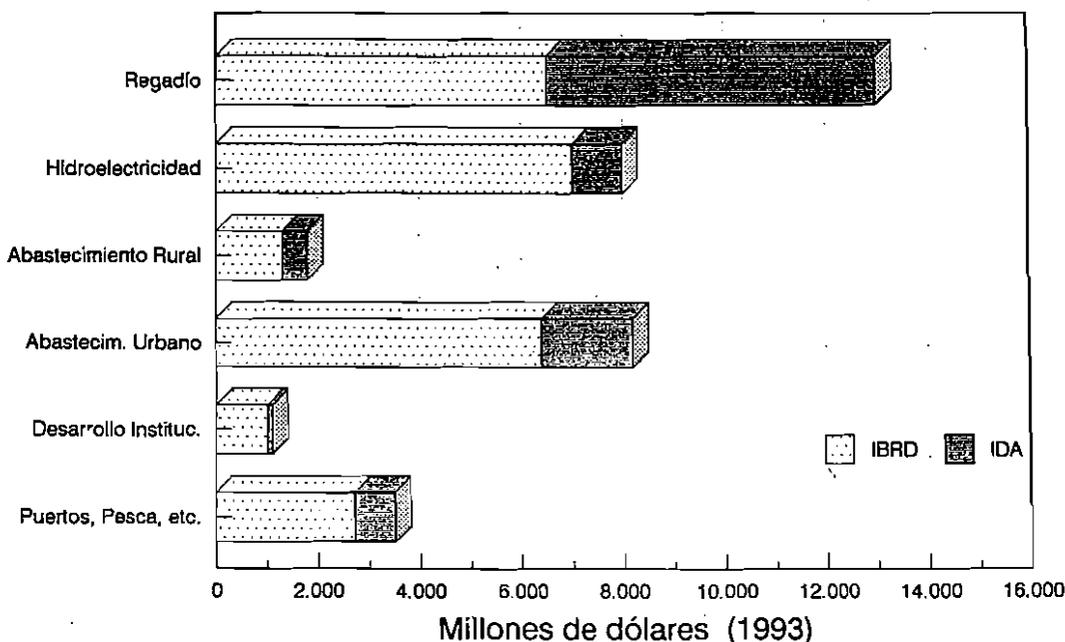


Fig. 1. Recursos económicos dedicados a infraestructura hidráulica, alterando profundamente el régimen de caudales y el funcionamiento ecológico de los ríos, a escala mundial. IBRD: International Bank for Reconstruction and Development. IDA: International Development Association.

logías, supuso una fuerte escalada de grandes obras de ingeniería hidráulica fluvial, a escala global (ej. cuenca del río Mississippi, ver RASMUSSEN, 1994).

Quizás los objetivos de desarrollo que han tenido mayor impacto en los ríos hayan sido el control de las avenidas y el drenaje del suelo para su utilización en la agricultura (HEY y HERITAGE, 1993), a los que habría que añadir en las últimas décadas la producción de energía hidroeléctrica (WORLD RIVERS REVIEW, 1993; Figura 1).

Para el logro de dichos objetivos, de forma tradicional se ha procedido, por una parte, a la canalización de los ríos, mediante su dragado, rectificación, ensanchamiento, etc., por procedimientos más o menos «duros» en cuanto a los materiales utilizados en el diseño del nuevo cauce, y, por otra, a la construcción de grandes presas con

capacidad para regular y modificar por completo el régimen natural de los caudales.

La construcción de tramos rectos para maximizar la pendiente del cauce en los mismos, con una sección profunda y estrecha, hace necesario revestir los taludes del cauce con bloques de escollera, gabiones o muros de cemento, para evitar su rotura. Ello inevitablemente ocasiona la destrucción del río natural, creando un canal uniforme sin valor ecológico, donde se pierden la flora y la fauna del río y sus riberas, a la vez que, con frecuencia, se desencadenan procesos de erosión del cauce en el tramo canalizado y de sedimentación y mayor riesgo de inundaciones en los tramos de aguas abajo (BROOKES, 1988; SAINZ DE LOS TERREROS *et al.*, 1991).

La regulación de los caudales mediante grandes presas para laminación de avenidas, almacena-

miento de agua para regadíos o producción de energía hidroeléctrica, altera el régimen natural de los ríos y tiene efectos ecológicos desfavorables en la fauna y flora acuáticas, muy bien documentados en la bibliografía (PETTS, 1984; GORE y PETTS, 1989; GARCÍA DE JALÓN *et al.*, 1992).

La aplicación de las prácticas tradicionales de ingeniería fluvial tiene cada vez menos aceptación por parte de numerosos grupos sociales, y ello es debido no sólo a sus efectos ecológicos o medioambientales desfavorables, sino también a razones económicas, cuando se considera la necesidad de sobredimensionar las obras para disminuir el riesgo que generan, o el costo de mantenimiento adicional que exigen, al ir en contra, en muchos casos, de los procesos fluviales naturales (HEY, 1994).

INGENIERIA MEDIOAMBIENTAL: RESTAURACION DE CAUCES

En los países más desarrollados, como alternativa a la ingeniería hidráulica tradicional, cada vez se plantean con mayor fuerza nuevas técnicas de control y aprovechamiento de los ríos que tienen en consideración sus valores medioambientales y son fruto de un conocimiento mucho más completo del ecosistema fluvial, que el basado estrictamente en consideraciones hidráulicas (ej. U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1989).

El control de las avenidas, o estabilización de los cauces mediante rectificaciones, construcción de motas, o diseños de cauces ampliados con secciones trapezoidales simétricas, puede ser sustituido por cauces de desagüe que actúan sólo durante las avenidas y dejan intacto el río principal; por dragados parciales, dejando zonas de sustrato inalterado donde no se perturban las poblaciones acuáticas; por escolleras intermitentes, situadas únicamente en los tramos de erosión de márgenes, o, finalmente, diseñando secciones dobles, la interior o de aguas bajas con formas cercanas a la triangular, donde se concentra el flujo de estiaje, y la exterior o de aguas altas asimétrica, imitando la forma natural de la llanura de inundación, donde, según oscila el nivel de las aguas, aparece una gran variación de calados y velocidades, que posibilita también una variación de hábitats y diversidad biológica (BROOKES, 1989; HENDERSON y SHIELDS, 1984; GRAY *et al.*, 1991; HEY, 1994).

Indudablemente, estas prácticas son incompatibles con una tendencia especulativa en el aprovechamiento de los terrenos adyacentes al cauce, ya que, para el desarrollo de una dinámica natural del río con su llanura de inundación, es necesario dar al río su «espacio», y muchas de las obras de canalización y rectificación de los ríos han sido proyectadas en nuestro país, no tanto para resolver el problema de las avenidas, muy puntual y poco frecuente, como para estabilizar los terrenos de márgenes y obtener el beneficio de su gran valor urbanístico (canalizaciones en tramos urbanos) o agrícola.

Especialmente en los tramos urbanos, la canalización de los ríos suprime una función cultural del río a su paso por la ciudad, eliminando la posibilidad de apreciar la dinámica de la Naturaleza, cambiante en formas y colores según las estaciones del año, que contribuye notablemente a la educación ambiental. La observación y estudio del comportamiento natural de los ríos en las ciudades favorece su respeto y limpieza, ofreciendo al mismo tiempo un espacio muy apreciado para actividades recreativas, que no estamos acostumbrados a tener, o exigir, dentro de nuestra propia ciudad.

PRINCIPIOS BASICOS PARA LA RESTAURACION DE LOS RIOS

Atendiendo a estas ideas generales de la dinámica de los ríos y sus valores medioambientales, se pueden establecer una serie de principios básicos que deben de ser tenidos en cuenta en los proyectos de restauración, haciéndolos extensivos a cualquier otro tipo de proyecto o intervención en los cauces.

Hoy día existe ya una extensa bibliografía acerca de numerosos métodos alternativos, basados en una mayor sensibilidad hacia los recursos y valores naturales de los ríos, que logran el objetivo de control del río pero con un costo menor que la ingeniería hidráulica tradicional, cuando actúan a favor de los procesos fluviales y dejan que el río efectúe parte del trabajo, no requiriendo inversiones de mantenimiento.

En todos los casos se trata de:

1.º Dar oportunidad al río para desarrollar su propia dinámica, dentro del cauce, atendiendo a

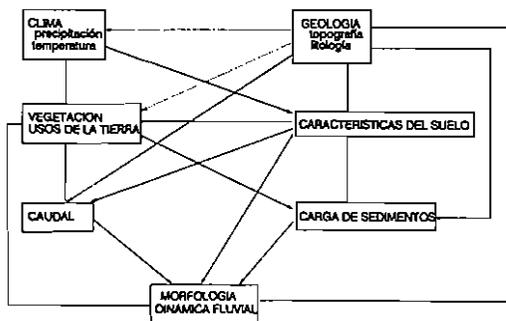


Fig. 2. Factores hidrológicos de la cuenca vertiente que determinan la morfología y dinámica fluvial, a través del régimen de caudales y de sedimentos que producen (según MORISAWA, 1985).

los procesos de erosión y sedimentación variables en el tiempo según el régimen de caudales.

2.º Crear una morfología estable, en equilibrio con dichos procesos, y flexible, dada la incertidumbre en la respuesta del río y las variaciones de su régimen de caudales.

3.º Potenciar la mayor heterogeneidad de formas y condiciones hidráulicas, para favorecer la diversidad de hábitats y especies, como sucede en la Naturaleza.

1.º Principio: El río está conectado y depende de su cuenca vertiente

La dependencia del río con su cuenca vertiente se pone de manifiesto analizando el origen de las aguas y de los sedimentos que circulan por los cauces (Figura 2).

El régimen de caudales que circula por un tramo de río es consecuencia del comportamiento hidrológico de la cuenca vertiente al tramo, y de la regulación de los mismos en el tramo situado aguas arriba. Asimismo, los sedimentos que transporta, junto a las sales disueltas, materia orgánica, etc., proceden de actividades o usos del suelo en las laderas vertientes que implican erosión del suelo, lavado de nutrientes, contaminación, etc., que llega a las aguas del río a través de las escorrentías.

Dentro del propio río, y ante las condiciones geomorfológicas del cauce y del valle, los caudales configuran determinadas condiciones hidráulicas, que a su vez representan distintos hábitats para los respectivos organismos acuáticos (Figura 3).

En general, cualquier problema surgido en el balance de las escorrentías o procesos erosivos de las laderas repercute, antes o después, en los cauces, donde enseguida aparecen síntomas de inestabilidad.

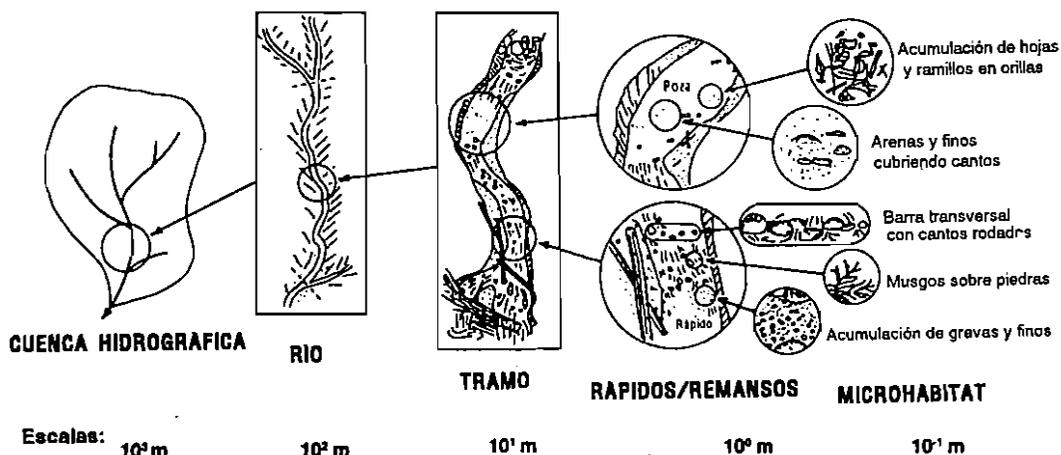


Fig. 3. Organización de los microhábitats fluviales basada en la ordenación de los tramos, dentro de la red hidrográfica de la cuenca vertiente (según FRISSELL *et al.*, 1986).

Antes de proceder a cualquier restauración o mejora de un tramo de río es necesario integrar dicho tramo en su cuenca vertiente (DEBANO y SCHMIDT, 1989), y comprobar que no existen otras causas de degradación ajenas al propio tramo del río, como un deficiente régimen de caudales procedente de la cuenca o de tramos de aguas arriba (períodos secos, oscilaciones bruscas de caudal, avenidas frecuentes, etc.), un cambio desfavorable en el balance de sedimentos (retención de sedimentos en la presa de aguas arriba, excesiva carga sólida por erosión en la cuenca, etc.), o un uso inadecuado de la ribera o zonas directamente conectadas con el cauce (sobrepastoreo, extracción de áridos, disposición de basuras, escombros, etc.).

2.º Principio: El régimen de caudales es el factor clave del ecosistema fluvial

El régimen de caudales circulantes por el río es el elemento clave del desarrollo del ecosistema fluvial, permitiendo la existencia de una determina-

da estructura y funcionamiento interno (condiciones hidráulicas, forma del cauce, flora y fauna acuáticas, etc.) y la conexión y vitalidad de la llanura de inundación (ver AMOROS y PETTS, 1993; HEILER *et al.*, 1994).

El problema de «calidad» del agua es prioritario a otros aspectos de la restauración. Pero la «cantidad» de agua es asimismo limitante para numerosos procesos geomorfológicos y biológicos que tienen lugar en los sistemas fluviales.

Para estimar los efectos de la regulación de los caudales hay que comparar la situación antes y después de la regulación, no sólo en términos de parámetros integradores o valores medios (medio anual, mensual, mínimo, etc.), sino también en términos de frecuencia y duración de los valores extremos.

A menudo se tiende a identificar el caudal ecológico con el caudal mínimo circulante por el río, con frecuencia calculado a partir de valores medios (ver Figura 4). En relación a los procesos

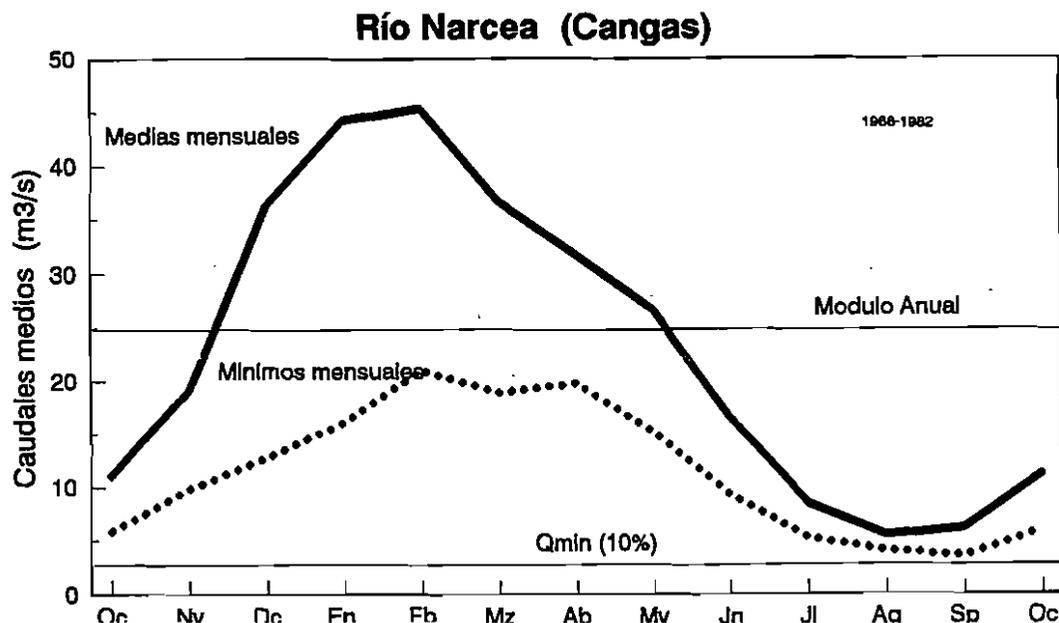


Fig. 4. Régimen natural de caudales del río Narcea en Cangas, indicando los caudales medios mensuales (trazo grueso) y el valor medio (media aritmética) de los caudales mínimos de cada mes (trazo de puntos). El caudal Qmin, 10%, calculado como el 10% del módulo anual (trazo continuo fino), a menudo se considera un caudal ecológico, pero ello es incorrecto, siendo en ocasiones muy inferior a los mínimos históricos registrados y estando muy alejado de un concepto ecológico que atienda a fluctuaciones naturales y a las demandas biológicas.

naturales, dichos valores medios pueden no tener ningún significado, resultando ser tanto o más importante para la fauna acuática las secuencias con que se producen, la duración de los períodos de mínimos, la magnitud del déficit hídrico en el cauce aceptable por la comunidad biológica, la repercusión del descenso del nivel de las aguas en la morfología del cauce dejando ciertas zonas (ej. frezaderos) sin agua, etc.

El caudal mínimo es solo un dato más en el concepto de régimen ecológico, el cual debe contemplar, asimismo, otros aspectos de los caudales como la magnitud, duración y periodicidad de las avenidas (caudales máximos) necesarias para limpiar el cauce de excesivas macrofitas, sedimentación de partículas finas, o para la inundación de las riberas y germinación de determinadas semillas, conectando periódicamente el cauce con su llanura de inundación (JUNK y PIEDADE, 1994).

Asimismo, en la gestión de las derivaciones del caudal de los ríos se deben tener en cuenta las interrelaciones caudal-agua subterránea, identificando los tramos perdedores, o más vulnerables, y las implicaciones que pueden tener dichas derivaciones en la vegetación riparia (RISSEY *et al.*, 1984; SMITH *et al.*, 1988; KONDOLF *et al.*, 1987).

Una vez establecido el régimen ecológico para el tramo correspondiente, éste debe de mantener una cierta «predictibilidad» por parte de las especies (COLWELL, 1974), ligada a la constancia del mismo y a su sincronización con otras variables del medio relacionadas con su fotoperíodo o termoperíodo.

3.^{er} Principio: La morfología del cauce es la respuesta del río al comportamiento hidrológico de su cuenca y a los procesos fluviales de erosión y sedimentación

Las distintas formas y trazados de los ríos que se observan en la Naturaleza no son caprichosas, sino que responden al régimen de caudales y de sedimentos que suministra la cuenca vertiente, y a los procesos de erosión y sedimentación que tienen lugar en el propio cauce, determinados por dicho régimen y por actividades humanas (ROSGEN, 1994).

Un cauce estable responde a una situación de equilibrio entre dichos procesos, mientras que la inestabilidad, puesta de manifiesto en una erosión del lecho u orillas del río, o en una excesiva sedimentación interior o en la llanura de inundación, responde a un desequilibrio o fase de reajuste del río a cambio de las condiciones hidrológicas de su cuenca (SCHUMM, 1977; BESCHTA y PLATTS, 1986; HEEDE, 1992).

El diseño de cauces, o su restauración, debe de tender a lograr o mantener una situación estable de equilibrio mediante actuaciones que detengan o aceleren la fase de reajuste del río a las condiciones actuales.

Los procesos de incisión del cauce, configurando secciones trasversales cada vez más profundas y con un coeficiente anchura/profundidad menor (SCHUMM *et al.*, 1984), llegan a ser muy desfavorables para la fauna acuática, reduciéndose la diversidad de hábitats existente en el fondo y en las orillas del cauce (SHIELDS *et al.*, 1994).

Este cambio de la sección determina una concentración del caudal y un aumento de la velocidad de las aguas, rebajando progresivamente el nivel de base, con lo que desciende el nivel freático de las riberas y la frecuencia de su inundación, quedando desconectadas del funcionamiento del río.

Para su restauración será necesario en estos casos proceder a:

- 1) el ensanchamiento de la sección (acelerando el proceso que tendría lugar de forma natural al superar un umbral de estabilidad en los taludes del cauce, cada vez más altos y pendientes, y éstos se desmoronarían hacia el cauce produciendo un retraimiento de las orillas;

- 2) el control de la erosión de fondo mediante diques transversales de retención, acelerando nuevamente el proceso de estabilización natural del lecho, cuando los sedimentos aportados al cauce superan la capacidad de transporte de la corriente y van elevando progresivamente el nivel de base, disminuyendo la pendiente del cauce (DEBANO y HEEDE, 1987; SEDELL *et al.*, 1991) (Figura 5).

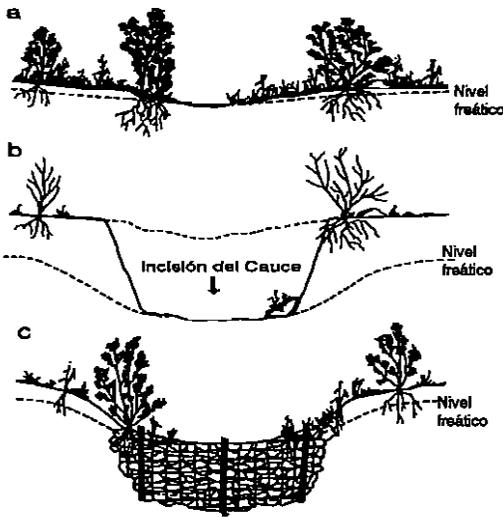


Fig. 5. Restauración de un tramo de río con problemas de incisión. a) Situación natural. b) Descenso del nivel freático consecuencia de la incisión, dejando seca la vegetación riparia. c) Control de la erosión del lecho del río mediante una estructura transversal, y elevación progresiva del nivel freático, permitiendo la recuperación de la vegetación riparia (en DEBANO y SCHMIDT, 1989).

Ello favorecerá la formación de un cauce más superficial, donde por sedimentación se vaya elevando el nivel freático de la llanura de inundación y nuevamente quede conectada ésta con el cauce, mediante afluencia de agua subterránea y avenidas periódicas, favoreciéndose asimismo la formación de distintos hábitats dentro del río y el desarrollo de una vegetación que estabiliza la biodiversidad de todo el sistema fluvial.

Los procesos de inestabilidad por erosión lateral de las orillas del cauce representan el caso contrario, donde un excesivo ensanchamiento del río determina aguas muy superficiales, de velocidades lentas, a menudo con temperaturas elevadas debido a su elevada insolación al faltar una vegetación riparia que sombree el cauce. En estos casos, con frecuencia, se acentúan los procesos de eutrofización de las aguas (excesivo crecimiento de algas y macrofitas), y el río se hace desfavorable para numerosos organismos acuáticos, debido a un déficit de oxígeno, falta de sustrato adecuado, etc. (PLATTS, 1991; STUBER, 1985).

La restauración en estos supuestos debe proceder a la profundización del cauce concentrando las aguas, favoreciendo el inicio de una cierta incisión del cauce que asegure una determinada velocidad de las aguas, un sustrato adecuado sin estar colmatado por partículas finas, y una estabilización de las orillas que permita el desarrollo de la vegetación riparia, mejorando con ello las condiciones de temperatura dentro del río, y apareciendo gradualmente toda la estructura e interrelaciones deseadas entre el cauce y su llanura de inundación (Figura 6) (VAN HAVEREN y JACKSON, 1986).

4.º Principio: La biodiversidad del río es el producto de una heterogeneidad de hábitats y una conectividad funcional entre ellos

La diversidad requiere una heterogeneidad de hábitats y espacios útiles para las distintas fases de desarrollo de las especies que componen la comunidad.

La presencia de rangos de calados dentro de una misma sección, que representan rangos de velocidades, de tipos de sustrato, de condiciones físico-químicas, etc. (NUNNALLY y KELLER, 1979) permitirá la presencia simultánea de especies adaptadas a zonas de corriente, a zonas de aguas lentas; de especies que viven en el fondo, con sustrato estable, especies que se mueven en la columna de agua y de especies que dependen del contorno del cauce, siendo éste mayor cuanto más irregular es la sección, actuando en este caso, el medio hiporreico y las orillas del cauce, como zonas de refugio o desarrollo para determinados estadios de su ciclo biológico.

El mantenimiento de una llanura de inundación conectada funcionalmente con el cauce amplía considerablemente la heterogeneidad de hábitats y condiciones de vida, permitiendo una gran biodiversidad que aprovecha todos los gradientes de los parámetros físicos y biológicos que actúan, sin que llegen a desarrollarse en exceso determinadas especies dominantes desplazando a las restantes (RISSER, 1990; AMORÓS *et al.*, 1993).

La falta de conexión del cauce con su llanura de inundación, por canalizaciones, dragados, etc., o la homogeneización del medio ripario y acuático por simplificación de la estructura fluvial, deter-

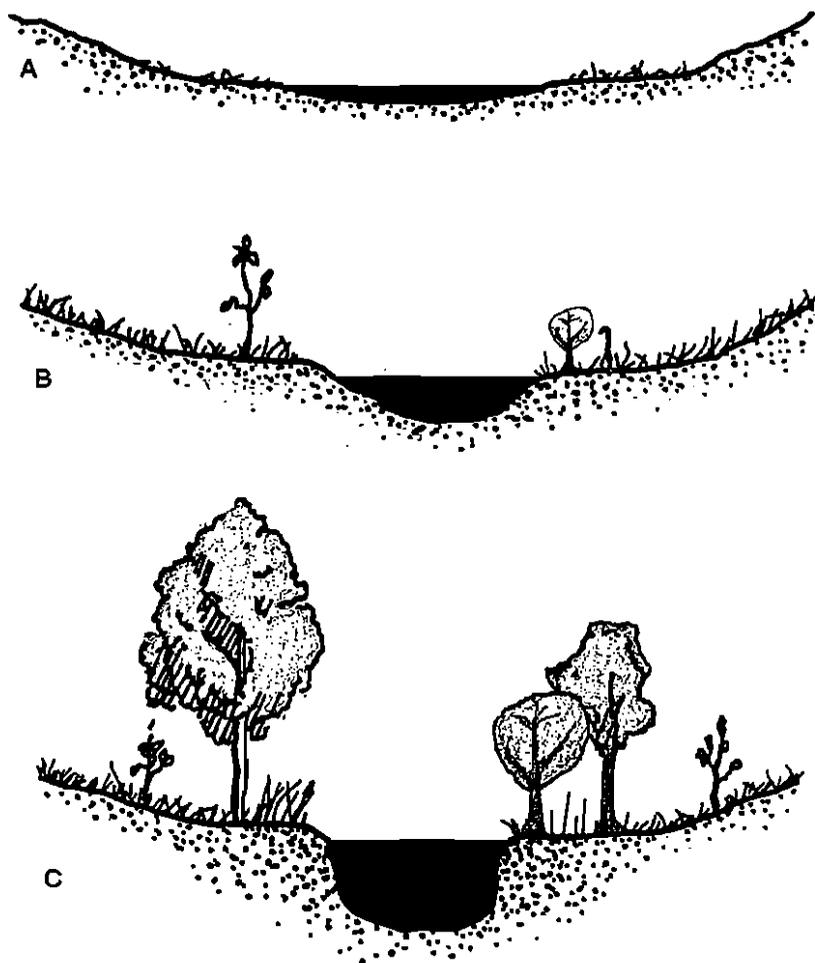


Fig. 6. Restauración de un tramo con problemas de erosión lateral, debida al pastoreo. a) Situación inicial. b) Creación de una nueva sección transversal que encauza las aguas, mejorando su relación anchura/profundidad. c) Evolución natural del cauce a partir de la situación B, alcanzando una sección estable que permite el desarrollo de la vegetación riparia (modificado de VAN HAVEREN y JACKSON, 1986).

mina la pérdida de esta biodiversidad, favoreciendo a las especies oportunistas, que son capaces de tolerar las condiciones homogéneas resultantes (Figura 7).

La diversidad biológica está también basada en el mantenimiento de toda la cadena trófica del ecosistema, quedando limitada por la escasez o ausencia de algunos eslabones, que a su vez limitan o impiden el desarrollo de las restantes especies.

En la cadena trófica de un río tiene especial importancia la materia vegetal sintetizada en las riberas o llanura de inundación, al ser pequeña la producción primaria dentro de las aguas corrientes, que es directamente utilizada por los consumidores del río. Ello pone en evidencia la dependencia mutua entre el río y su llanura de inundación, manteniendo un intercambio fundamental de materia y energía.

La restauración de los ríos debe tender a aumen-

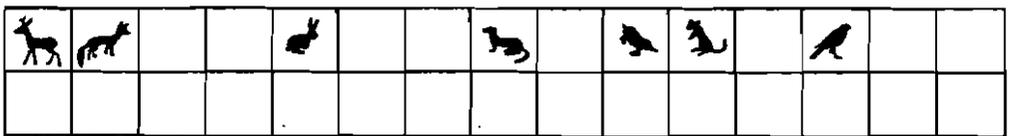
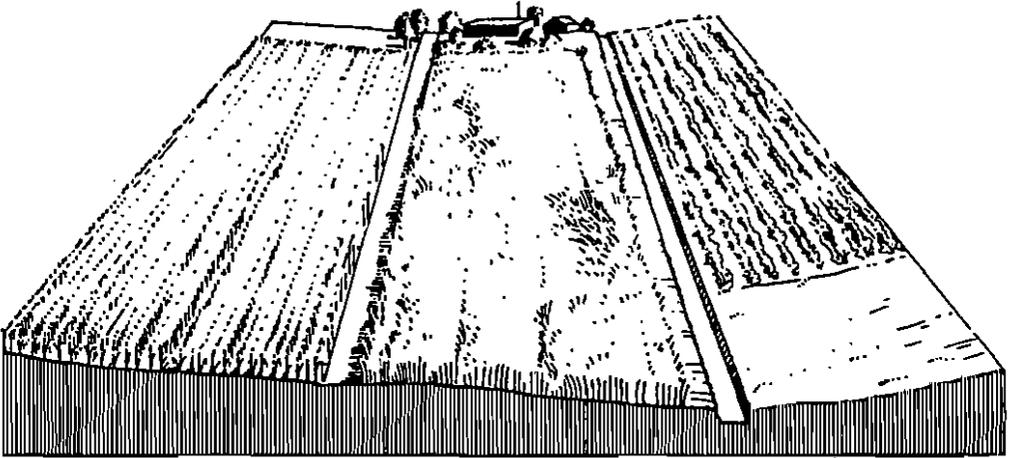
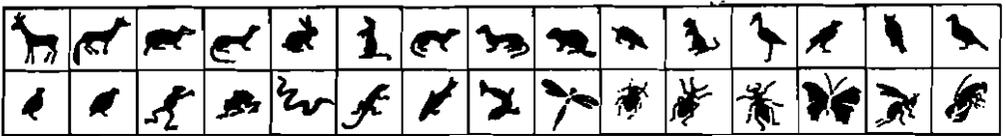
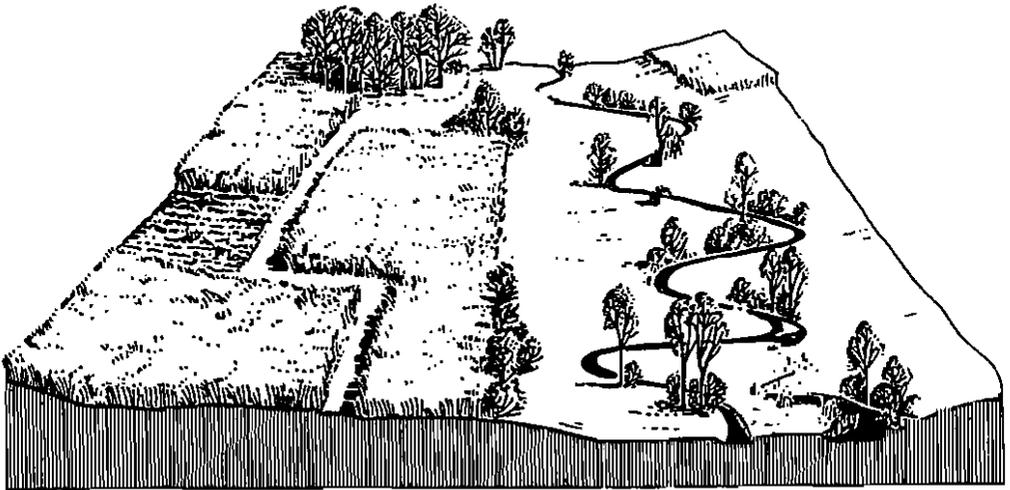


Fig. 7. Esquema comparativo de la diversidad de hábitats y de especies ligada a un trazado natural de un tramo bajo de un río de zonas agrícolas, y la del mismo tramo, canalizado (según BINDER, 1991).

tar la heterogeneidad de hábitats y condiciones hidráulicas, manteniendo la diversidad e irregularidad de formas que se observan en la Naturaleza.

En el diseño o mejora de esta estructura diversa del río, hay que tener en cuenta la necesidad de que funcione o esté articulada mediante interrelaciones entre el régimen de caudales y la forma del cauce, su llanura de inundación y las variables biológicas que interactúan, poniendo especial atención en la organización de una estructura trófica completa (ver HOLLAND *et al.*, 1991).

5.º Principio: Individualidad de los sistemas fluviales

Cada río presenta unas características distintas y propias, atendiendo a las condiciones hidrológicas de su cuenca vertiente, y a la historia de las actividades humanas desarrolladas en la misma (LEOPOLD *et al.*, 1964; HEEDE, 1992).

La individualidad morfológica y de comportamiento de cada río se traduce también en una individualidad biológica de cada tramo, puesta en evidencia no sólo en términos de composición y estructura de las comunidades, sino también en la componente genética de las poblaciones que alberga, pudiendo diferenciar para cada especie (ej. *Salmo trutta*) diferentes razas o variedades de unas regiones a otras, consecuencia de distintos procesos de aislamiento y recolonización posteriores a las glaciaciones (GARCÍA MARÍN *et al.*, 1991).

Dentro de un programa de restauración fluvial es necesario, por tanto, considerar esta individualidad o peculiaridad de cada río a distintas escalas, sucesivamente de unos tramos a otros dentro de cada río, de unos ríos a otros dentro de cada cuenca, de unas cuencas a otras dentro de cada Comunidad o región, etc., incluyendo en cada caso también la escala de paisaje (MALANSON, 1993), tomando siempre como referencia aquellos tramos o ríos que en la actualidad presentan un mejor estado de conservación, pero resaltando en cada caso lo que es más peculiar o tiene mayor valor según los objetivos propuestos.

6.º Principio: Actuar a favor de la Naturaleza, con sus propios medios, resulta más económico y eficaz que actuar en su contra

Un hecho avalado por experiencias históricas es la imposibilidad de controlar ciertos ríos de forma indefinida, debido a su potencia hidráulica para destruir las obras dispuestas en su cauce, cuando éstas no responden a su dinámica natural en momentos de avenidas (BROOKES, 1990).

El caso del río Mississippi es quizás el ejemplo más clásico, mostrando multitud de errores cometidos en las obras de ingeniería hidráulica clásica, diseñadas para la estabilización del cauce. La canalización y rectificación de su tramo bajo han determinado procesos de erosión remontante transmitidos por el cauce principal a sus afluentes, causando grandes problemas de sedimentación que han originado cambios de trazado y mayor inestabilidad que la existente antes de la canalización (WINKLEY, 1982; RASMUSSEN, 1994).

En España se repiten estas mismas experiencias en ríos muchísimo más pequeños que el aludido, necesitando muchos proyectos de canalizaciones, dragados o rectificaciones de cauces, un mantenimiento constante después de cada avenida, por excesiva erosión o rotura de las estructuras, o por una gradual sedimentación.

Muchos de los problemas que existen en los ríos se deben a la erosión de las orillas por falta de vegetación protectora, a la presencia de obstrucciones al paso de las aguas (naturales o creadas por el hombre), o al excesivo crecimiento de macrofitas (por excesiva eutrofización de las aguas y elevada temperatura).

En estos casos el propio río dispone de medios para resolverlos, mediante avenidas periódicas que arrastran los obstáculos del cauce, limpiando de forma natural las acumulaciones de sedimentos o eliminando una excesiva materia vegetal dentro del cauce (troncos caídos, acumulaciones de detritus, macrofitas, etc.), y mediante la presencia de la vegetación en las orillas y riberas, la cual da fuerza y cohesión a los suelos, impidiendo su erosión, y suministra sombra a las aguas del cauce, regulando la temperatura y entrada de luz

a las aguas y controlando el crecimiento masivo de macrofitas.

Restaurar una cierta periodicidad de las avenidas en un régimen de caudales regulado es indudablemente mucho más barato y efectivo, en muchos casos, que efectuar dragados periódicos o limpiezas de cauce. De forma análoga, permitir el desarrollo de una vegetación riparia adecuada cuesta menos que construir estructuras de reforzamiento de las orillas para evitar su erosión, o llevar a cabo recogidas periódicas de las macrofitas del cauce, empleo de herbicidas, etc.

En los Estados Unidos, y cada vez con mayor frecuencia, se contempla en la restauración de los ríos el Método Palmiter (HERBKERSMAN, 1984), que ha diseñado y puesto en práctica técnicas sencillas para estabilizar las orillas y mejorar la capacidad de desagüe de los ríos, bajo el lema «deja que el río haga el trabajo» (*let the river do the work*), habiendo recibido un reconocimiento oficial y gran difusión pública para su aplicación en numerosos estados del país (NRC, 1992).

Dicho método propone:

- 1) La utilización de materiales naturales siempre que sea posible (empleo sistemático de la vegetación, o de estructuras construidas con troncos, ramas, piedras sueltas de diferentes tamaños, etc.), y
- 2) La actuación selectiva dentro del cauce, añadiendo o eliminando elementos de obstrucción del cauce (troncos caídos, acumulaciones de sedimentos formadas por el propio río, etc.) actuando siempre de forma puntual, donde aparece dicha obstrucción, pero dejando inalterado el resto del cauce, evitando con ello intervenciones indiscriminadas que uniformizan las condiciones naturales, y la incorporación de elementos ajenos al cauce (obras de cemento, hormigón, etc.).

En ríos pequeños, o de baja potencia hidráulica, siempre será posible recurrir a estos elementos naturales del cauce para su restauración; y en los de mayor tamaño, se deben de utilizar sistemas suficientemente resistentes a la fuerza de la corriente, pero que permitan una posterior recolonización o recubrimiento por la vegetación (ej. geotextiles, gabiones, escollera con elementos de gran tamaño, etc.), para que ésta complete su efecto estabilizador y suministre, entre otras fun-

ciones, sombra a las aguas y aporte de materia orgánica al cauce, a la vez que regugio a numerosas especies.

Aunque la incorporación de estos elementos naturales al proyecto encarece su realización, siempre habrá que tener en cuenta el beneficio añadido sobre el funcionamiento ecológico del río y su mejora estética, ambos difíciles de evaluar monetariamente, e indudablemente la ausencia de costos adicionales de mantenimiento, que en obras de ingeniería hidráulica tradicional pueden superar el costo del propio proyecto inicial.

7.º Principio: La restauración de los ríos requiere espacio

Mantener una diversidad de hábitats y formas de vida, que responda a un funcionamiento estable del ecosistema fluvial, puesto de manifiesto en su morfología y dinámica, exige disponer de un determinado espacio en el cual del río desarrolla su trazado y se desplaza libremente, desbordándose periódicamente y manteniendo activa la llanura de inundación (PETTS, 1990; BROOKES, 1989).

En la mayoría de los casos, los problemas de inestabilidad o degradación de los sistemas fluviales han sido provocados por un confinamiento del cauce, reduciendo su anchura y cortando su conexión con la llanura de inundación.

Las ribeas o llanura de inundación de los tramos bajos de los ríos representan las zonas más apreciadas para el establecimiento de núcleos urbanos, zonas industriales, vías de infraestructura, etc., debido a su relieve llano muy favorable para las comunicaciones, y a la fertilidad de sus suelos para la agricultura.

Son estos tramos bajos los más alterados por el hombre, y donde es mayor la presión de ocupación de las ribeas, existiendo un mayor conflicto de usos en los mismos. La planificación del territorio a escala regional debe resolver dicho conflicto, dando prioridad a la conservación de los ríos en los tramos que presentan mejor estado en la actualidad.

Para llevar a cabo la restauración de estos tramos será necesario, en muchos casos, ampliar el espacio disponible por el río para su desplazamiento

lateral, estableciendo una banda de anchura variable a cada lado del cauce, en función de la dimensión de éste y de las características geomorfológicas del tramo, donde poder llevar a cabo, de forma apropiada, la restauración del trazado del cauce y el desarrollo de la vegetación (Figura 8).

En el costo del proyecto de restauración habrá que considerar, en la mayoría de los casos, partidas del presupuesto destinadas a la adquisición de terrenos, o a la subvención a los propietarios ribereños para que se acojan a las medidas protectoras o planes de restauración, siendo necesario muchas veces proceder a un deslinde de las

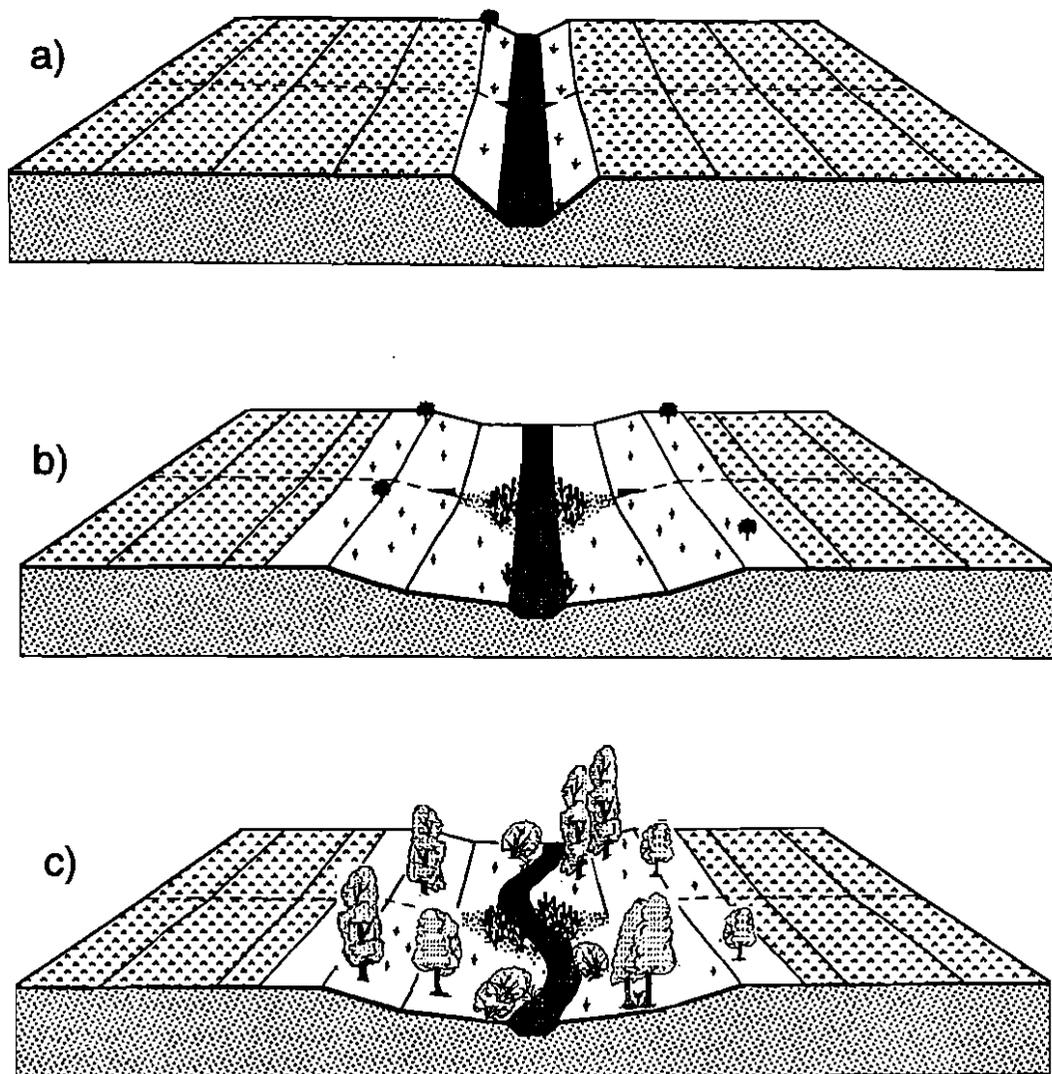


Fig. 8. Etapas en la restauración de un tramo canalizado de río: a) Trazado recto y espacio ripario ocupado por cultivos agrícolas. b) Ampliación del espacio ripario y mejora de la sección transversal del cauce, disminuyendo las pendientes de los taludes laterales. c) Recuperación de la sinuosidad del cauce y progresivo establecimiento de la vegetación riparia (modificado de PETERSEN *et al.*, 1992).

riberas y del dominio público hidráulico, y a un acuerdo con los propietarios ribereños.

Por otra parte, el área del proyecto de restauración necesita tener una extensión mínima para que el efecto de borde e influencia de las actividades o usos del suelo adyacentes no malogren la restauración, impidiendo la integridad de las funciones acuáticas internas en dicha área, que en general va a ser mayor, o mucho mayor, que los cinco metros de policía aludidos en la vigente Ley de Aguas.

8.º Principio: Prevenir la degradación de los ríos puede ser menos costoso que proceder a su restauración

La restauración de los ríos puede llegar a ser muy costosa, en función del estado de deterioro del que se parta.

Cada vez en mayor medida es necesario asumir los gastos que genera la conservación de los sistemas naturales (ej. instalación de plantas depuradoras), pero simultáneamente es también necesario evitar su actual degradación con las nuevas obras proyectadas.

La exigencia de evaluación de impacto ambiental o la aplicación de la Ley de Aguas no parece afectar, en la práctica, a muchos de los proyectos que se realizan en los cauces (ej. canalizaciones, dragados, etc.), los cuales determinan en algunos casos su notable deterioro ecológico.

No parece razonable, hoy día, seguir realizando proyectos de ingeniería hidráulica que no atiendan a los aspectos medioambientales de los ríos, y que, con el paso de los años y mayor educación ambiental de la sociedad, supongan nuevas inversiones para su restauración.

Resulta evidente la necesidad de organizar equipos multidisciplinares para la redacción de proyectos de obras en cauces, donde la puesta en común de conocimientos de hidráulica fluvial, ecología fluvial o arquitectura del paisaje permita la redacción, desde su inicio, de proyectos de ingeniería que, atendiendo a los objetivos propuestos (defensa de avenidas, estabilización de los cauces, etc.), salvaguarden los valores medioambientales que ofrecen los ríos, desde su fase de ejecución.

El funcionamiento de estos equipos de técnicos multidisciplinares fomentará un conocimiento del río más completo por parte de los componentes, y el diseño de soluciones integradoras de la problemática que cada uno de ellos representa.

Dichas soluciones responderán a criterios de estabilidad y equilibrio dinámico, sostenidos por los técnicos en morfología e hidráulica fluvial, y a criterios de biodiversidad sostenidos por los técnicos en ecología fluvial, resultando ser en la mayoría de los casos de menor coste económico, al responder a la dinámica fluvial (sin gastos de mantenimiento a corto y medio plazo) y evitar el deterioro del sistema fluvial (sin gastos de restauración a corto, medio o largo plazo).

9.º Principio: La restauración de los ríos requiere inversiones para estudios y proyectos, personal especializado y apoyo de las poblaciones ribereñas

Medios económicos para estudios y proyectos

La restauración de los ríos, en diferentes tramos y llevada a cabo en diferentes cursos de agua dentro de cada cuenca hidrográfica, debe responder a un programa de conservación resultado de un estudio previo a escala de cuenca.

El desarrollo de dicho programa exige la realización de estudios previos, donde se recoja la información necesaria tanto para la selección correcta de los tramos o sectores de río a restaurar, como para la priorización de objetivos y redacción de los proyectos acordes con los mismos.

Una vez redactado el proyecto, su puesta en práctica exigirá inversiones cuya cuantía depende del nivel de deterioro de partida.

Siempre será preferible una restauración más lenta y que afecte a menos tramos, pero basada en el funcionamiento del río y duradera en el tiempo, que una restauración más extensiva y visible, considerada «cosmética fluvial» o de jardinería, que no responde a ningún estudio previo y se vea arruinada por las primeras avenidas, o por el mantenimiento de causas de perturbación ajenas al propio tramo de río.

En el coste de los proyectos de restauración es necesario introducir algunas partidas de presu-

puesto para el seguimiento de los mismos, asegurando durante algunos años el desarrollo de la vegetación (posible riego, nuevas siembras, plantaciones, etc.), la estabilidad de las estructuras diseñadas, la disposición de cercas o alambradas para evitar la entrada de ganado donde ello sea necesario, el pago de subvenciones a los ribereños o usuarios en conceptos compensatorios, y la realización y difusión de estudios de seguimiento para el control de la efectividad de lo proyectado.

Personal especializado

Tanto los estudios aludidos, como los proyectos de restauración, deben ser realizados por personal especializado en los sistemas fluviales.

Una conceptualización errónea o deficiente de estos sistemas conduce a fallos en la planificación de la restauración, y en la redacción y ejecución de los proyectos.

El deficiente conocimiento de los ríos radica con mucha frecuencia en no considerarlos parte de un sistema más amplio río-llanura de inundación, a su vez integrante de un sistema a mayor escala, dentro de su cuenca vertiente.

Otro fallo frecuente en el concepto de los ríos es ignorar su equilibrio dinámico, que puede ser roto cuando se supera algún umbral de estabilidad. O desconocer la estructura biológica que alberga, y su funcionamiento, causando su destrucción por ignorancia, o no logrando su mejora por la presencia de algún factor limitante en la cadena trófica o en el desarrollo de las especies.

La historia de la intervención humana en los ríos es una sucesión de técnicas de prueba y error (ROSGEN y FITTANTE, 1986), con infinidad de ejemplos de éxitos y fracasos que responden a un mejor o peor conocimiento de las condiciones operantes en cada caso, diferentes de unos tramos o ríos a otros.

Para contribuir a un conocimiento cada vez más completo de los ríos es necesario realizar evaluaciones de los proyectos de restauración, con estudios antes y después de los mismos, describiendo y cuantificando su efecto en todos los componentes del sistema fluvial (GARCÍA DE JALÓN, 1995), haciendo públicos los resultados obtenidos a tra-

vés de revistas científicas, congresos o publicaciones técnicas.

Únicamente mediante la difusión de las técnicas empleadas y los resultados obtenidos en cada caso se irá logrando un mayor conocimiento de la respuesta de los ríos a intervenciones humanas, y una mejor formación de los técnicos involucrados en su restauración y conservación.

Apoyo de las poblaciones ribereñas

Los proyectos de restauración y conservación de cualquier sistema natural deben de estar aceptados y apoyados activamente por las poblaciones más cercanas a los mismos, las cuales determinan a medio o largo plazo el éxito o el fracaso de las inversiones realizadas.

Las obras proyectadas no deben de ir en contra de los intereses locales, o de usos tradicionales en el cauce o sus riberas, debiendo ser éstos considerados como condicionantes o limitantes del proyecto. No es posible llevar a buen fin proyectos de restauración o intervención en los cauces que supongan un enfrentamiento con los usuarios (pescadores, agricultores, ganaderos, asociaciones deportivas, culturales, etc.), resultando dicho enfrentamiento en general un costo adicional del proyecto, que debe ser resuelto previamente a la realización del mismo.

Ello no obsta para que en el proyecto se contemple un gradual cambio de usos o comportamiento social, basado en un plan de subvenciones o compensaciones a los ribereños, y en un plan de educación ambiental que debe ser iniciado por las poblaciones más jóvenes (colegios infantiles), dando a éstas la responsabilidad del mantenimiento de los proyectos, la realización de estudios sencillos del medio fluvial, la interpretación del paisaje del río mediante concursos de pintura, fotografía, etc., que supongan un gran estímulo para su buen mantenimiento y conservación.

La educación ambiental, y en especial la de las poblaciones infantiles, ha demostrado ser una herramienta eficaz en la conservación de los ecosistemas naturales, enseñando a las más adultas y asegurando una situación futura más sensible a la conservación de la Naturaleza (HOUSE, 1991).

10.º Principio: La restauración de los ríos debe de estar incluida en la Planificación Hidrológica de cada cuenca

La restauración de los ecosistemas fluviales debe ser no sólo la ejecución de proyectos concretos, sino la expresión de una ideología asumida en la Planificación Hidrológica de las cuencas vertientes.

Son muchas las actividades que afectan a los cauces y riberas fluviales, cuyo control supone un ámbito de actuación de mayor rango que el de la propia restauración de un tramo de río.

En muchas ocasiones, la restauración de los ríos debe comenzar con la mejora de los usos del suelo en la cuenca, permitiendo la recuperación de los ríos sin necesidad de intervención. El Comité de Estados Unidos para la Restauración de los Ecosistemas Acuáticos propone, en este sentido, lo siguiente (NRC, 1992):

— Los programas de control de la erosión en la cuenca debe ser revisados y acelerados, no sólo para conservar el suelo sino también con el objetivo de restaurar los ríos y riberas afectados.

— Las prácticas de pastoreo en terrenos públicos deben ser controladas y revisadas, con el fin de minimizar los daños que ocasionan al sistema ripario y reparar los tramos de ríos afectados.

— La «ingeniería blanda» para el control de la erosión en cauces, con técnicas de bioingeniería para la estabilización de las orillas, debe ser considerada en primer término, y siempre con preferencia a las soluciones de «ingeniería dura», tales como presas, malecones, canalizaciones o escolleras.

— Los diques longitudinales o reforzamientos laterales de los cauces no necesarios o poco justificados deben de ser destruidos y removidos, para reestablecer las conexiones hidrológicas entre los

hábitats de las riberas y llanura de inundación y los ríos asociados a ellos.

— Los sistemas de clasificación de usos del suelo y zonas húmedas deben de considerar explícitamente los espacios de ribera y llanura de inundación que mantienen una conexión periódica con el cauce.

La Planificación Hidrológica debe de partir de un conocimiento de los recursos hídricos en cantidad y calidad, y de unos objetivos a alcanzar a medio y largo plazo respecto a los mismos, haciendo compatible los distintos intereses y demandas de la Sociedad.

Para la consideración de los distintos sistemas acuáticos presentes en la cuenca es necesario proceder a su clasificación, atendiendo a sus características físicas (régimen de caudales, aportaciones hídricas, características geomorfológicas, etc.), de calidad de las aguas y sus condiciones biológicas.

El establecimiento de unos estándares o metas a alcanzar en cuanto a disponibilidades hídricas, calidad de las aguas o nivel de conservación de los ríos, permitirá establecer unos objetivos distintos para cada clase o tipo de río resultante de esta clasificación. Con ello se podrán establecer las actuaciones que es necesario emprender en cada río para que, partiendo de su situación actual, se logre la situación deseada a corto, medio y largo plazo.

Como objetivo general en dicha Planificación Hidrológica debe de aparecer, entre otros, el de restaurar y conservar los cauces y riberas fluviales, creando figuras especiales de protección (ej. «parques fluviales» ya existentes en otros países mediterráneos) y dedicando partidas presupuestarias tanto a la ordenación de usos del suelo que afecten a los cauces y riberas fluviales, como a la mejora del comportamiento y percepción social frente a los mismos.

BIBLIOGRAFIA

- AMORÓS C. y PETTS G. E. (eds.). 1993: *Hydrosystèmes fluviaux*. Collection d'Ecologie, 24. Masson, París.
- AMORÓS C.; GIBERT J. y GREENWOOD M. 1993: «Interactions entre unités de l'hydrosystème fluvial». En: AMORÓS y PETTS (eds.), capítulo 9.

- BESCHTA R. L. & PLATTS W. S. 1986: «Morphological features of small streams: significance and function». *Res. Bull.* 22(3), 369-379.
- BINDER W. 1991: «Rivers and Streams Conservation, Improvement and Restoration». En: *Riverbank Conservation*, HALL, M. y M. A. SMITH (eds.), 51-64. Hatfield Polytechnic, Occasional Papers in Environmental Studies N.º 11.
- BROOKES A. 1988: *Channelized Rivers*. John Wiley, 326 pp.
- BROOKES A. 1989: «Alternative Channelization Procedures». En: *Alternatives in Regulated River Management*. GORE y PETTS (eds.), 139-162.
- BROOKES A. 1990: «Restoration and enhancement of engineered river channels: some European experiences». *Regulated Rivers: Research and Management*, 5: 45-56.
- COLVELL R. K. 1974: «Predictability, constancy and contingency of periodic phenomena». *Ecology* 55: 1148-1153.
- DEBANO L. F. y HEEDE B. H. 1987: «Enhancement of riparian ecosystems with channel structures». *Water Resources Bulletin*, 23: 463-470.
- DEBANO L. F. y SCHMIDT L. J. 1989: *Improving Southwestern Riparian Areas through Watershed Management*. USDA Forest Service, GTR RM-182, Fort Collins, Colorado.
- FRISSELL L. A.; LISS W. J.; WARREN C. E. & HURLEY M. D. 1986: «A hierarchical framework for stream habitat classification: Viewing streams in a watershed context». *Environmental Management*, 10(2), 199-214.
- GARCÍA DE JALÓN D. 1995: «Physical Habitat Improvement for Fish Stocks». En: *The Ecological Basis for River Management*, D. HARPER & A. J. D. FERGUSON (eds.), 363-374. John Wiley & Sons.
- GARCÍA DE JALÓN D.; GONZÁLEZ TÁNAGO M. y CASADO C. 1992: «Ecology of regulated streams in Spain: An overview». *Limnetica* 8, 161-166.
- GARCÍA DE JALÓN D.; JORDE P. E.; RYMAN N.; UTTER F. y PLA C. 1991: «Management implications of genetic differentiation between native and hatchery populations of brown trout (*Salmo trutta*) in Spain». *Aquaculture*, 95: 235-249.
- GORE J. y PETTS G. E. (eds.). 1989: *Alternative in Regulated River Management*. CRC Press.
- GRAY D. H.; MACDONALD A.; THOMANN T.; BLATZ I. y SHIELDS F. D. 1991: *The effects of vegetation on the structural integrity of sandy levees*. US Army Corps of engineers, TR REMR-EL-5, Washington, D.C.
- HEEDE B. H. 1992: *Stream Dynamics: An overview for land managers*. GTR RM-72, USDA Forest Service, Fort Collins, Colorado.
- HENDERSON J. E. y SHIELDS F. D. 1984: «Environmental Features for Streambank Protection Projects». U.S. ACE, Technical Report E-84-11. Washington D.C.
- HEILER G.; HEIN T. y SCHIEMER F. 1994: «The significance of hydrological connectivity for limnological processes in Danubian backwaters». *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25: 1674-1679.
- HERBKERSMAN C. N. 1984: *A guide to the George Palmeter river restoration techniques*. Institute of Environmental Sciences, Miami University, Oxford, Ohio.
- HEY R. D. 1994: «Environmentally sensitive River Engineering». En: *The Rivers Handbook II*, P. CALOW & G. E. PETTS (eds.), 337-362. Blackwell Sc. Publ.
- HEY R. D. y HERITAGE G. L. 1993: *Draft Guidelines for the Design and Restoration of Flood Alleviation Schemes*. National Rivers Authority Publ., Bristol.
- HOLLAND M. M.; RISSER P. G. y NAJMAN R. J. (eds.) 1991: *Ecotones. The role of Landscape Boundaries in the Management and Restoration of Changing Environments*. Chapman and Hall.
- HOUSE M. 1991: «Urban Rivers, Nature Conservation and the use of Rivers for recreation». En: *Riverbank Conservation*, M. HALL y M. A. SMITH (eds.), 33-38. Hatfield Polytechnic, Occasional Papers in Environmental Studies, 11.
- JUNK W. J. y PIEDADE T. F. 1994: «Species diversity and distribution of herbaceous plants in the floodplain of the middle Amazon». *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25: 1862-1865.

- KONDOLF G. M.; WEBB J. W.; SALE M. J. y FELANDO T. 1987: «Basic hydrologic studies for assessing impacts of flow diversions on riparian vegetation: examples from streams of the eastern Sierra Nevada, California». *Environmental Management* 11: 757-769.
- LEOPOLD L. B.; WOLMAN M. G. & MILLER J. P. 1964: *Fluvial Processes in Geomorphology*. Freeman Co. San Francisco. 522 p.
- MALANSON G. P. 1993: *Riparian Landscapes*. Cambridge Studies in Ecology. Cambridge University Press.
- MORISAWA M. 1985: *Rivers*. Longman.
- NCR (NATIONAL RESEARCH COUNCIL) 1992: *Restoration of Aquatic Ecosystems.*, National Academy Press, Washington D.C.
- NUNNALLY N. R. y KELLER E. A. 1979: «Use of fluvial processes to minimize adverse effects of channelization». *Technical Report 144*, North Carolina Water Resources Research Institute, Raleigh, N. C.
- PETERSEN R. C.; PETERSEN L. B. M. & LACOURSIERE J. 1992: «A building-clock Model for Stream Restoration». In: *River Conservation and Management*. P. J. BOON, P. CALOW and G. E. PETTS (eds.). John Wiley & Sons, 293-310.
- PETTS G. E. 1984: *Impounded Rivers. Perspectives for Ecological Management*. J. Wiley & Sons. Chichester.
- PETTS G. E. 1990: «The role of ecotones in aquatic landscape management». En: *The Ecology and management of Aquatic-Terrestrial Ecotones*. R. J. NAIMAN y H. DÉCAMPS (eds.), 227-262. Man and Biosphere Series, UNESCO, París.
- PLATSS, W. S. 1991: «Livestock grazing». En: *Influences of Forest and Rangeland Management on Salmonid Fishes and their Habitats*. 389-423. (W. R. MEEHAN, ed.). Amer. Fish. Soc. Spec. pub. 19. Bethesda.
- RASMUSSEN J. L. 1994: «Management of the Upper Mississippi: A case history». En: *The Rivers Handbook*, vol. 2, P. CALOW y G. E. PETTS (eds.), 441-463. Blackwell Scientific Publication.
- RISSE P. G. 1990: «The ecological importance of land-water ecotones». En: *The ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones*. R. J. NAIMAN y H. DÉCAMPS (eds.), UNESCO y The Parthenon Publishing Groups, 7-22.
- RISSE R. J.; FOX C. A.; LANG F. J. y MESSICK T. C. 1984: *Proceedings of a workshop on instream flow requirements for riparian vegetation in the Sierra Nevada, California*. Pacific Gas and Electric Company, Department of Engineering Research.
- ROSGEN D. L. 1994: «A classification of natural rivers». *Catena*, 22: 169-199.
- ROSGEN D. y FITTANTE B. L. 1986: «Fish habitat structures. A selection guide using stream classification». *Proc. Fifth Trout Stream Habitat Improvement Workshop*, Lock Haven, Pa.
- SAINZ DE LOS TERREROS M.; GARCÍA DE JALÓN D. y MAYO M. 1991: *Canalización y Dragado de cauces: Sus efectos y técnicas para la restauración del río y sus riberas*. Diputación Foral de Alava. Vitoria.
- SCHUMM S. A. 1977: *The Fluvial System*. John Wiley and Sons.
- SCHUMM S. A.; HARVEY M. D. y WATSON C. C. 1984: *Incised Channels. Morphology, Dynamics and Control*. Water Resources Publication.
- SEDELL J. R.; STEEDMAN R. J.; REIGER H. A. y GREGORY S. V. 1991: «Restoration of human impacted land-water ecotones». En: *Ecotones*. HOLLAND *et al.* (eds.), 110-129. Chapman & Hall.
- SHIELDS F. D.; KNIGHT S. S. y COOPER C. M. 1994: «Effects of channel incision on base flow stream habitats and fishes». *Environmental Management* 18(1): 43-57.
- SMITH, S. D.; NACHLINGER J. L.; WELLINGTON A. B. y FOX C. A. 1988: «Water relations of Obligate riparian plants as a function of streamflow diversion on the Bishop Creek Watershed». *Proceeding of the California Riparian Systems Conference*, 360-365. USDA Forest Service, GTR PSW-110. Berkeley, California.
- STUBER R. J. 1985: «Trout habitat, abundance and fishing opportunities in fenced vs unfenced riparian habitat along Sheep Creek, Colorado». En: *Riparian Ecosystems and their Management: Reconciling Conflicting Uses*. USDA Forest Service, GTR RM-120, Washington D.C., 310-314.
- U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. 1989: *Environmental Engineering for local flood control channels*. Engineer Manual 1110-2-1205, Washington, D. C.

- VAN HAVEREN B. P. y JACKSON W. L. 1986: *Concepts in Stream Riparian Rehabilitation*. Wildlife Management Institute Fifty-First North American Wildlife and Natural Resources Conference, Reno, Nevada.
- WINKLEY B. R. 1982: «Response of the Lower Mississippi to river training and realignment». En: *Gravel-Bed Rivers*, R. D. HEY, C. R. THORNE y J. C. BATHURST (eds.), 659-681. John Wiley & Sons, Chichester.
- WORLD RIVERS REVIEW. 1993. *International Rivers Network*, vol. 8(3): 8-11.