

PROTECCIÓN Y RECUPERACIÓN DEL MEDIO ACUÁTICO

Gemma Ansola González*, Estanislao de Luis Calabuig* y Juan Manuel Bustillo Núñez**

* Universidad de León. ** Universidad de Burgos

RESUMEN

La Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo, establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Una de las medidas previstas en el plan de gestión del distrito hidrográfico será prevenir el deterioro, mejorar y restaurar el estado de las masas de agua superficiales y lograr que estén en un buen estado químico y ecológico.

En el presente trabajo, se analiza en primer lugar el estado del conocimiento en base a la Directiva del Parlamento Europeo cuyos objetivos deben alcanzarse para el año 2015. En el segundo capítulo se justifica la necesidad del estudio en base a datos pormenorizados del estado de nuestros ríos.

Propuestas, criterios y recomendaciones a utilizar en la restauración de los ríos ocupa ampliamente el tercer capítulo. Comienza este apartado definiendo dos formas de realizar las restauraciones, como una práctica de ingeniería hidráulica, como se ha hecho tradicionalmente o apostando por una ingeniería medioambiental, más respetuosa con la forma de actuar de la naturaleza.

Para entender como debe ser una restauración mediante ingeniería medioambiental, se analizan los principios básicos que deben adoptarse explicados detalladamente en diez epígrafes, documentados con numerosas citas. Para actuar según los principios analizados anteriormente se expone a continuación las etapas básicas que deben llevarse a cabo en la ejecución de cualquier obra de restauración, a la luz de distintos supuestos prácticos recogidos en la bibliografía. Son seis apartados donde se expone como actuar, en muchos casos se sopesa distintos procedimientos para en función de los tiempos y los fondos económicos disponibles, realizar una u otra actuación.

El último capítulo resume de forma aproximada los efectos económicos que puede conllevar las actuaciones explicadas anteriormente, así como otros posibles efectos sociales y ambientales.

Finalmente se recoge una abundante bibliografía que apoya el presente estudio.

1.- ESTADO DEL CONOCIMIENTO

La Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo, establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas y señala en el artículo 8 que, entre otras, las medidas previstas en el plan de gestión del distrito hidrográfico serán: prevenir el deterioro, mejorar y **restaurar** el estado de las masas de agua superficiales y lograr que estén en un buen estado químico y ecológico.

Estos objetivos deberán alcanzarse 15 años después de la entrada en vigor de la Directiva. (2015)

Una gestión sostenible del medio hídrico, compatible con la conservación de la naturaleza y los procesos ecológicos, debería trazarse dentro de un marco general de planificación y de gestión racional que conste de unas directrices generales y un programa coordinado de planificación del territorio a diferentes escalas. Para ello debe partirse de unos escenarios basados, por un lado, en el conocimiento y planificación ambiental del recurso – papel ecológico, conservación- y por otro, en los marcos demográficos y socioeconómicos realistas y claros basados en estimaciones serias. Las actuaciones a llevar a cabo deben basarse en el principio de gestión de la demanda, y antes de ofrecer más recursos debe realizarse una adecuada gestión de los existentes que evite el despilfarro.

La planificación podría basarse en los siguientes aspectos:

- El ciclo del agua no es un proceso discontinuo sino que los componentes del territorio de las cuencas son compartimentos interconectados hidrológicamente dentro de cada cuenca. Por lo tanto debe tenerse en cuenta la conexión medio terrestre-agua-medio acuático y los requisitos mínimos que precisan los ecosistemas acuáticos para su funcionamiento, por lo que la cuenca hidrográfica debe ser considerada como la unidad de gestión hidrológica.
- La eficiencia debe constituir la base de la planificación hidrológica: sistemas de bajo consumo, educación ambiental, debiendo tenerse siempre en cuenta los déficits hídricos recurrentes: también debería desarrollarse un régimen económico-financiero mediante un canon realista que evite el despilfarro, sobre todo para los mayores consumidores y debe primarse aquellos usos cuidadosos con el agua y emprender un modelo de gestión sostenible del recurso.
- Los datos sobre demandas y disponibilidades del recurso deben estar claros y ser contrastados mediante estudios cuantitativos, discutidos en foros científico-técnicos, sociales y económicos.
- Se deberían incluir de forma conveniente las necesidades ambientales. Así, el caudal ambiental de ríos, lagos y humedales constituye una de las claves para el futuro de la

integridad ambiental de los ecosistemas acuáticos y debe ser la primera medida para el reconocimiento de su valor intrínseco. La finalidad de este caudal no es diluir la contaminación sino preservar la productividad biológica, la diversidad de especies y los procesos ecológicos.

- La planificación debería someterse a una evaluación de impacto ambiental estratégica para evitar alteraciones insostenibles del medio acuático o su cuenca.
- La gestión, conservación y restauración de los ecosistemas acuáticos, deben tener un papel importante en la planificación, dirigido todo ello a la protección y recuperación de los procesos físico-químicos y biológicos que definen su papel ecológico y que permiten realizar funciones útiles al hombre, como la regulación natural de la circulación del agua y las sustancias en ellas disueltas.

2.- JUSTIFICACIÓN DE LA IMPORTANCIA DEL TEMA

Los ríos han sido los ecosistemas más aprovechados por el hombre a lo largo de la historia, como suministro de agua, pesca, etc, siendo su característica más atractiva la del movimiento unidireccional de la corriente, constituyendo un recurso renovable, un sistema rápido de transporte y de remoción desechos, y una fuente potencial de energía.

Son muchas las actividades humanas que alteran los componentes de los ecosistemas fluviales (Boon, 1992) y cada vez en mayor medida estas actividades afectan a superficies mayores, a grandes distancias desde donde se producen, y con mayor intensidad en función del creciente poder tecnológico y de desarrollo de los países.

Entre las actividades humanas podemos señalar las Inter-cuenca: contaminación atmosférica, deposición ácida y trasvases entre cuencas; las Intra-cuenca: repoblación y deforestación, urbanización, desarrollo agrícola, drenajes y vías de infraestructura; Actividades de las riberas y llanuras de inundación: remoción de la vegetación de riberas, obras de defensa contra avenidas, dragados y canalizaciones, extracción de áridos, agricultura y plantaciones de choperas, pastoreo y actividades recreativas; Impactos dentro del río: regulación de caudales (presas), contaminación orgánica e inorgánica, contaminación térmica, abstracción/incorporación de caudales, explotación de especies nativas, introducción de especies exóticas y navegación.

Un ejemplo de ello es el efecto de los trasvases, que modifican por completo el régimen de caudales de los tramos afectados (por abstracción o incorporación del agua trasvasada), concebidos para el desarrollo de las zonas menos provistas de recursos hídricos pero con cualidades para la agricultura,

urbanizaciones, recreo, etc, en un concepto de sociedad “avanzada” cada día más en revisión. O el efecto de la contaminación por deposición ácida en muchas masas de agua, procedente de las zonas más industrializadas y que tienen su efecto a grandes distancias de donde se originan, creando conflictos entre cuencas y entre países.

Los cambios de usos del suelo por repoblaciones, deforestaciones, urbanizaciones, puestas en regadío, drenajes, etc. alteran el régimen hidrológico y las relaciones suelo-agua en las laderas, teniendo una repercusión inmediata en los cauces en términos de aportaciones totales, distribución de las mismas a lo largo del año, y carga de sedimentos o erosión neta transportada hacia los cauces.

Pero son las actividades desarrolladas en las proximidades de los cauces, o en su interior, las que tienen un impacto mayor y más visible en los ecosistemas fluviales, alterando profundamente la vida acuática que albergan.

La regulación de los caudales mediante embalses es quizás una de las actividades que tiene efecto más negativo en las comunidades biológicas de los ríos, siendo muy raro encontrar en nuestro país, en la actualidad, un río permanentemente no regulado (García de Jalón *et al.* 1992).

Las canalizaciones, dragados o cualquier obra de defensa contra avenidas alteran el régimen hidráulico interior del cauce, y destruye la compleja estructura de las orillas naturales, trayendo consigo en la mayoría de los casos la eliminación de la vegetación de ribera y el empobrecimiento de la fauna acuática.

La agricultura de regadío y las plantaciones de choperas ocupan con mucha frecuencia en nuestros ríos las riberas y llanuras de inundación de los mismos, llegando hasta la misma orilla del cauce y provocando erosiones de márgenes y disminución de la fauna asociada a las aguas.

Otro tipo de actividades como la extracción de áridos, el pastoreo incontrolado en las riberas, la presencia de vertederos, escombreras, incorporación de vertidos contaminantes, etc. afecta también profundamente al funcionamiento de los ecosistemas fluviales, incorporando elementos tóxicos (vertidos, escombreras) o perturbando las interrelaciones entre el cauce y su llanura de inundación a través del movimiento del agua y formación del sustrato (alterado por ejemplo con las extracciones de áridos), a través de la vegetación riparia mediante el intercambio de materia orgánica, regulación de la energía térmica, etc. (eliminada total o parcialmente por la actividad del pastoreo, entre otras).

Hoy día, aparece cada vez con más frecuencia entre los científicos, gestores y políticos, a nivel internacional, el concepto de “desarrollo sostenible”, aceptando la necesidad de adecuar el aprovechamiento de los recursos naturales a su mantenimiento y conservación, reconociendo la

utilidad, incluso en términos económicos, de seguir las leyes de la Naturaleza (mantenimiento de los proyectos sin costo adicional) en lugar de contradecirlas (gastos de mantenimiento de los proyectos periódicos, a veces muy superiores a los de realización de los mismos).

La conservación de los ecosistemas es hoy un objetivo ampliamente aceptado en el mundo, al menos teóricamente, y así ha sido recogido por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (1980), a través de las principales estrategias propuestas:

- mantener los procesos ecológicos esenciales y los sistemas biológicos
- preservar la diversidad genética
- asegurar un aprovechamiento sostenido de las especies y de los ecosistemas

Son varios los motivos que se pueden aludir para justificar la restauración y conservación de los sistemas naturales, como son el mantenimiento de los sistemas que soportan vida, el valor práctico (control de la erosión, potencial terapéutico...), importancia económica, investigación científica, educación y valor estético y recreativo.

En el caso de los sistemas fluviales, la gestión y conservación para el aprovechamiento sostenido de los recursos que ofrecen exige adoptar una estrategia a nivel de cuenca hidrográfica, realizando una planificación de los usos del suelo acorde con la conservación de los mismos, y teniendo en cuenta las interrelaciones que existen entre los componentes fluviales y los sistemas terrestres que les rodean.

Un sistema fluvial ofrece a la especie humana no solo agua, susceptible de ser embalsada y aprovechada para consumo doméstico y en la mayoría de las actividades humanas. El río ofrece también toda una serie de recursos y valores cada vez más apreciados como la energía, pesca como alimento y actividad deportiva, vegetación acuática y riberas, fauna silvestre asociada a la presencia del río, sedimentos aluviales, valor recreativo, paisajístico, científico y cultural, cuyo disfrute y conservación plantean un conflicto de usos del agua, que es necesario considerar en la planificación hidrológica de cada cuenca, y resolver según objetivos, criterios de valoración y condiciones de partida distintos en cada río y, con mayor motivo, muy diferentes de unas cuencas a otras.

La necesidad de adoptar en la gestión y conservación de los ecosistemas fluviales una estrategia a nivel de cuenca vertiente se pone en evidencia considerando el origen de los caudales que circulan por los ríos, consecuencia de los procesos hidrológicos que tienen lugar en las laderas vertientes.

El régimen de caudales resultante configura una morfología de los cauces variable y dinámica, e impone unas características hidráulicas dentro del río, a las que se adaptan las comunidades

biológicas teniendo en cuenta su variación en el sentido transversal, desde el centro del río hasta las orillas, y su variación en el sentido longitudinal, desde la cabecera hasta la desembocadura.

Superpuesta a la necesidad de considerar la cuenca vertiente como unidad de planificación y gestión de los sistemas fluviales y recursos hídricos, se plantea el concepto multidimensional del río, incorporando a las relaciones transversales y longitudinales dentro del cauce, las relaciones en sentido horizontal con el medio terrestre o llanura de inundación, a través de su conexión periódica por avenidas y desbordamientos, paso permanente de agua subterránea, importación y exportación de materia vegetal, movimiento de la fauna asociada, etc; y las relaciones en sentido vertical que presenta con el medio hiporreico, beneficiado por la humedad freática y utilizado por numerosas especies que habitan los ríos.

A estas tres dimensiones espaciales del río es necesario incorporar una cuarta dimensión, el tiempo (Amorós et al, 1987; Ward, 1989), que tiene especial importancia en las aguas quietas, meandros abandonados, etc., pero que el río en movimiento rejuvenece de forma constante, retrasando procesos de colmatación típico de sistemas acuáticos sin corriente, aunque ejerza un efecto notable en la geomorfología hacia perfiles más estables a escala geológica.

Este concepto de río, como sistema dependiente de su cuenca vertiente, y con las tres dimensiones espaciales unidas al efecto del tiempo antes apuntadas, es el que debe regir en la gestión y planificación hidrológica, y en el diseño de la restauración y conservación de los ecosistemas fluviales.

Para la restauración y conservación de los cauces fluviales habrá que tener presente la necesidad de restaurar y conservar no sólo la estructura de cada componente del río sino también su función, permitiendo las interrelaciones mutuas entre ellos.

La estructura atiende a la composición de elementos físicos y especies presentes en el río, y a su diversidad y disposición en el espacio, equivalente a lo que se puede reconocer en una fotografía “estática” del sistema fluvial.

La función se refiere al conjunto de interrelaciones existentes entre los elementos y especies que definen la estructura, como mecanismos de funcionamiento que han permitido su aparición o formación, o su desarrollo y persistencia, haciendo que dicha estructura se mantenga en equilibrio dinámico y evolucione, siendo equivalente en este caso al movimiento y papel desempeñado por cada uno de los componentes del sistema fluvial, en una representación filmada del mismo.

La restauración de los ríos y riberas es o debe ser una aplicación multidisciplinar de la Hidrología y de la Ecología Fluvial, que se puede incluir bajo la denominación de Hidrobiología.

Definiendo estas materias, tradicionalmente la Hidrobiología se refiere al estudio del ciclo hidrológico, tratando de las interrelaciones e interacciones del agua y su entorno o cuenca vertiente, teniendo un enfoque más predictivo y analítico.

La Ecología Fluvial estudia las interrelaciones de los organismos y su entorno, en este caso del agua o sistema acuático, y es una ciencia más descriptiva y experimental.

Estas diferencias de puntos de partida entre hidrólogos (ingenieros) y ecólogos (biólogos) determinan visiones muy parciales en cada caso de los sistemas fluviales y de las posibilidades o significado de su restauración.

Indudablemente la perspectiva del hidrólogo es muy útil para el diseño de los cauces, proponiendo estructuras estables frente a la fuerza de la gravedad, tensión de arrastre y energía de la corriente, etc. atendiendo a las leyes físicas se pueden deducir fórmulas o modelos teóricos para el cálculo de tales estructuras, y en la práctica darles solución quitando grados de libertad al río, para reducir el número de variables a calcular o predecir.

Pero tratándose de un sistema natural como es el río, en el diseño o restauración de los cauces no puede obviarse su capacidad para albergar “vida”, debiendo tener en cuenta la necesidad de crear hábitats físicos para la fauna, ofreciendo una diversidad de espacios y condiciones hidráulicas útiles para el mayor número de especies posibles.

Es pues necesario unir a la visión del hidrólogo la perspectiva biológica de los ríos, teniendo así un enfoque mucho más completo del medio fluvial y mayor información para elaborar los proyectos de restauración, tomando siempre ejemplo de la propia Naturaleza.

La restauración de los ríos y riberas debe estar fundamentada en unos principios teóricos, que sintetizen el conocimiento científico de los sistemas fluviales, y en unos principios prácticos, avalados por la experiencia, donde se hagan intervenir los medios disponibles y los objetivos de restauración.

3.- PROPUESTAS, CRITERIOS Y RECOMENDACIONES PARA LA RESTAURACIÓN DE LOS RÍOS

Es posible establecer una serie de etapas básicas en la restauración de los ríos y una priorización de las actuaciones, sin olvidar la energía propia del río, procedente del movimiento de las aguas, para llevar a cabo parte o todo el trabajo de la restauración, una vez eliminada la causa de su perturbación.

Para presentar los principios básicos para la restauración de ríos se debe intentar ofrecer una visión de los ríos desde varias perspectivas, como componentes de su cuenca vertiente, de la que reciben un determinado régimen de caudales; como sistemas dinámicos capaces de ajustarse al comportamiento hidrológico de su cuenca o a impactos debidos a las actividades humanas; y como sistemas biológicos, albergando en el medio acuático una gran riqueza de especies y formas de vida, y en el medio ripario, ecotono entre río y los ecosistemas terrestres adyacentes, asimismo una gran biodiversidad y productividad. (González del Tánago y García de Jalón, 1995).

Del conocimiento detallado del sistema fluvial se pueden concluir los principios que deben seguir cualquier actuación en los cauces o riberas, ya sea tendente a su control en beneficio de ciertos objetivos (canalización para el control de avenidas), como enfocada a su restauración y conservación.

3.1- Prácticas tradicionales de ingeniería hidráulica

Con la mejora y ampliación de las técnicas de construcción, los trabajos de ingeniería hidráulica se han extendido a todo el mundo, efectuando infinidad de presas, trasvases, canalizaciones, etc. Estos trabajos afectan en la actualidad no solo a los grandes ríos sino a los pequeños cursos de agua, en un afán de llevar hasta el máximo posible un desarrollo económico basado en las disponibilidades del agua, hoy día de forma general cuestionado, y por algunos sectores sociales fuertemente criticado.

Los objetivos para este desarrollo que han determinado mayores obras y perturbaciones en los ríos han sido el control de las avenidas y el drenaje del suelo para su utilización en la agricultura (Hey y Heritage, 1993).

Para lograr dichos objetivos se ha procedido tradicionalmente a las canalizaciones 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. Ello ha causado no solo la destrucción de la flora y fauna del río y riberas, sino que ha afectado al régimen local de transporte de sedimentos, causando inestabilidad del cauce.

La estabilización de cauces naturalmente inestables, particularmente los de trazado trenzado, puede controlarse reduciendo el suministro de sedimentos que llegan al tramo, o incrementando la eficacia del cauce para su transporte. La primera alternativa requiere un programa de control de la erosión en la cuenca, asociado a la construcción de pequeños diques de retención en los cauces de los afluentes. La segunda alternativa resulta menos costosa, y requiere actuar en el cauce principal para aumentar su capacidad de transporte.

Tradicionalmente ello se ha resuelto mediante la construcción de tramos rectos para maximizar la pendiente del cauce en los mismos, con una sección profunda y estrecha, para muros de cemento, evitando su rotura. Ello inevitablemente ocasiona la destrucción del río natural, creando un canal uniforme sin valor ecológico ni estético, donde se ha perdido la conectividad con la ribera y la diversidad dentro del cauce.

El desarrollo de programas de regadío, basados en tomas de agua de ríos o embalses, o de acuíferos, ha determinado la construcción de numerosas presas, canales, trasvases, etc., así como el descenso dramático de los niveles freáticos a escala regional, produciendo una gran degradación de los ecosistemas fluviales al alterar por completo su régimen de caudales natural.

La abstracción directa del agua del río, así como el desarrollo de pozos para tomas de agua subterránea, aumenta notablemente la duración de los periodos de caudales mínimos y su frecuencia, causando la sequía total del cauce en muchos lugares de nuestro país.

La construcción de grandes presas reduce la frecuencia de las avenidas, y su impacto depende del nuevo régimen de caudales suministrado por la presa, y del aporte de agua de afluentes no regulados del cauce principal.

Los embalses pueden originar la degradación (erosión) del cauce hasta una distancia considerable de las presas, ya que sueltan aguas sin sedimentos que erosionan al lecho, quedando en éste únicamente los más gruesos. El proceso continúa hasta que se forma un sustrato estable sin elementos finos (a veces rocoso), de carácter impermeable e inapropiado para las poblaciones de macroinvertebrados y peces (salmónidos) anteriormente existentes. En ocasiones la erosión de fondo se ve acrecentada por la cohesión de las orillas, reforzada por la presencia de la vegetación que ya no es desestabilizada periódicamente por las avenidas, con lo cual se va disminuyendo la anchura del cauce retroalimentándose el proceso de degradación de fondo (Raynov *et al*, 1986).

La aplicación de estos modelos ya no es aceptada por gran parte de la sociedad, y ello es debido no solo a razones ecológicas o medioambientales, sino también a razones económicas, teniendo en cuenta la necesidad de sobredimensionar las obras por el riesgo que generan, y el costo de mantenimiento adicional que suponen al ir en contra, en la mayoría de los casos, a los procesos naturales de la dinámica fluvial (Hey, 1994).

3.2- Restauración de cauces mediante ingeniería medioambiental

La consideración de los valores medioambientales que ofrecen los ríos no impide el desarrollo de proyectos para su control y aprovechamiento, sino que facilita una interpretación del ecosistema fluvial mucho más completa que la basada estrictamente en variables hidráulicas.

Existen numerosos métodos alternativos (Hey, 1994), basados en una mayor sensibilidad hacia los recursos y valores naturales, para resolver los problemas de control de avenidas o estabilización de cauces, existiendo una gran documentación para mitigar los efectos de la regulación de los caudales (Gore y Petts, 1989).

En cuanto al control de las avenidas o estabilización de los cauces, las rectificaciones, diseños de nuevos cauces ampliados pueden ser sustituidos por cauces de desagüe, que actúan durante las avenidas y dejan intacto al río principal; por dragados parciales, dejando zonas de sustrato inalterado donde se mantengan las poblaciones acuáticas; un alejamiento de los límites de la sección de aguas altas, dejando un amplio espacio interior en condiciones naturales susceptibles de ser inundado periódicamente, pero con una dinámica propia; o diseñando secciones a dos niveles, la interior o de aguas bajas en formas cercanas a la triangular, donde se concentra el flujo en estiaje y aparece una gran variación de calados y velocidades de las aguas, y con orillas no estabilizadas de forma continua y homogénea sino de anchura variable y estabilización puntual con piedras de tamaño diverso, rechazando las secciones de estiaje trapezoidales y con partes laterales de fábrica.

Se trata de dar oportunidad al río para desarrollar su propia dinámica dentro del cauce, atendiendo a los procesos de erosión y sedimentación variables en el tiempo, con el régimen de caudales, crear una morfología estable con dichos procesos, y flexible dada la incertidumbre en la respuesta del río y por último potenciar la mayor heterogeneidad de formas y condiciones hidráulicas, para favorecer la diversidad de hábitats y de especies.

El diseño de esta ingeniería medioambiental con una tendencia especulativa en el aprovechamiento de los terrenos adyacentes al cauce, ya que para el desarrollo de la dinámica fluvial y su llanura de inundación es necesario dar al río “espacio”, o muchas de las obras de canalización y rectificación de los ríos han sido proyectados en nuestro país no tanto para resolver el problema de las avenidas, a veces de escasa frecuencia, como para estabilizar los terrenos de márgenes de gran valor urbanístico (canalizaciones en tramos urbanos) o agrícolas.

Especialmente en los tramos urbanos, la canalización de los ríos suprime una función cultural del río a su paso por la ciudad, mostrando la dinámica de la naturaleza cambiante en formas y colores según las estaciones del año, que contribuiría notablemente a la educación ambiental, cuidando su limpieza y estudiando su comportamiento, ofreciendo al mismo tiempo un espacio muy apreciado para actividades recreativas que no estamos acostumbrados a disponer, o exigir, dentro de la propia ciudad.

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 ser tenidos en cuenta en los proyectos de restauración, haciéndolos extensivos a cualquier otro tipo de proyecto o intervención en los cauces.

Se trata de restaurar, o no alterar, la estructura del río en cuanto a su morfología (perfil longitudinal, transversal, trazado), tipo de sustrato (granulometría, estabilidad), condiciones hidráulicas de la corriente (velocidad, calado, arrastre), comunidades biológicas del río (algas, macrófitos, macroinvertebrados, peces, aves) y a su llanura de inundación (vegetación riparia, meandros, fauna asociada).

También se debe de restaurar las funciones de cada uno de los componentes de dicha estructura, permitiendo las interrelaciones mutuas dentro del propio río, y entre éste y su llanura de inundación.

Cualquier proyecto de restauración debe partir de un régimen de caudales apropiado para la existencia de los organismos acuáticos presentes o a introducir o mejorar su hábitat; y de una calidad del agua suficiente para asegurar el desarrollo de los mismos, y sin la cual cualquier actuación de restauración no será rentable o justificable bajo los conceptos ecológicos ya mencionados.

4.- PRINCIPIOS BÁSICOS DE UNA RESTAURACIÓN MEDIANTE INGENIERÍA MEDIOAMBIENTAL

4.1.- Conexión del río con su cuenca.

Los sedimentos que transporta un río, junto a las sales minerales 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. Hay que tener en cuenta que el régimen de caudales que circula por un tramo del 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.

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.

Se puede establecer una relación directa entre el estado de la cuenca y el estado de sus cauces, por lo que es muy necesario realizar un análisis detallado de las relaciones causa-efecto de los problemas observados, antes de proceder a cualquier programa de restauración o mejora, teniendo

en cuenta el estado de degradación en que se encuentra el tramo a restaurar y la causa del problema (De Bano y Schmidt, 1989).

La restauración sería inútil cuando la degradación se deba a variables ajenas al propio tramo del río, como un deficiente régimen de caudales, un cambio en el balance de sedimentos o uso incontrolado de la ribera; si no se procede con anterioridad a mejorar o eliminar dicha causa de perturbación.

4.2.- El régimen de caudales es el factor clave del ecosistema fluvial.

El régimen de caudales circulantes por el río aparece como el elemento clave del desarrollo del ecosistema fluvial, permitiendo la existencia de una determinada estructura (condiciones hidráulicas, forma del cauce, flora y fauna acuáticas, etc) y la conexión y vitalidad de la llanura de inundación.

El problema de “calidad” del agua es prioritario a otros aspectos de la situación. 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 solo en términos de parámetros integradores o valores medios (medio anual, mensual, mínimo, etc) sino también en términos de frecuencia y duración de los valores externos.

A menudo se tiende a definir un caudal ecológico por el caudal mínimo circulante por el río, con frecuencia calculado a partir de valores medios. En relación a los procesos naturales, dichos valores medios pueden no tener ningún significado, siendo necesario tener en cuenta las secuencias con que se producen, la duración de los periodos de mínimos, la magnitud del déficit hídrico en el cauce, la repercusión del descenso del nivel de las aguas en la morfología del cauce dejando ciertas zonas (frezaderos) sin agua, etc.

Es necesario introducir el concepto de régimen ecológico, sustituyendo al anterior “caudal ecológico”, el cual no solo contemple determinados valores de caudal (mínimos), sino también la secuencia con que se producen: su variación a lo largo del año sincronizada con los regímenes estacionales de otras variables que afectan a la fauna acuática como la temperatura del aire; la duración del periodo de mínimos y el déficit hídrico aceptable por la comunidad biológica, etc. e introducir finalmente la magnitud, duración y periodicidad de avenidas necesarias para limpiar el cauce de excesivas macrófitas, sedimentación de partículas finas, o para la inundación de la ribera y germinación de determinadas semillas.

Dicho régimen ecológico, una vez establecido debe de mantener una cierta predictibilidad por parte de las especies, ligada a la constancia del mismo y a su sincronización con otras variables del medio relacionadas con su fotoperiodo o termoperiodo.

4.3.- La morfología del cauce es la respuesta del río al comportamiento hidrológico de su cuenca y a los procesos 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 las actividades humanas.

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 cambios de las condiciones hidrológicas de su cuenca.

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.

Cualquier obra o proyecto en el río debe ir a favor de los procesos naturales que en él operan, resultando asimismo estable frente a la fuerza de la corriente para su remoción o destrucción, en función, de la potencia hidráulica de aquella.

Los procesos de incisión del cauce, configurando secciones transversales cada vez más profundas y con un coeficiente anchura/profundidad menor, llegan a ser muy desfavorables para la fauna acuática, reduciéndose la diversidad de hábitats existente en el fondo y en las orillas del cauce.

El cambio de la sección determina una concentración del caudal y el 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).

Esto 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 con el cauce, mediante afluencia de agua subterránea y avenidas periódicas, favoreciendo 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 la vegetación riparia que sombree el cauce. En estos casos con frecuencia se atenúan los procesos de eutrofización de las aguas (crecimiento de algas y macrófitas) y el río se hace desfavorable para numerosos organismos acuáticos, debido a un déficit de oxígeno, falta de sustrato adecuado, etc.

La restauración en estos casos 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 en 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 (Van Haveren y Jackson, 1986).

4.4.- La biodiversidad del río es el producto de una heterogeneidad de hábitats y una conectividad funcional entre ellos.

La diversidad biológica está 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 los ríos y su llanura de inundación, manteniendo un intercambio fundamental de materia y energía.

La diversidad biológica 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. permitirá la presencia simultánea de especies adaptadas a zonas de corriente, a zonas de aguas lentas; a especies que viven en el fondo, con sustrato estable a especies que se mueven en la columna de agua; y a 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 lleguen a desarrollarse en exceso determinadas especies dominantes desplazando a las restantes.

La falta de conexión del cauce con su llanura de inundación, por canalizaciones, dragados, etc. o la homogenización del medio ripario y acuático por simplificación de la estructura fluvial, determina la pérdida de esta biodiversidad, favoreciendo a las especies oportunistas que son capaces de otear las condiciones homogéneas resultantes (Binder, 1991).

La restauración de los ríos debe tender a aumentar la heterogeneidad de los 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 atención en la organización de una estructura trófica completa.

4.5.- 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.

Los principios anteriormente expuestos son aplicables a cualquier río o curso fluvial, pero el diseño de los proyectos de restauración será distinto en cada caso, aún ante problemas similares, atendiendo a la morfología, intensidad de los procesos u objetivos de restauración.

La individualidad biológica de cada río o tramo de río se pone en evidencia al estudiar la componente genética de las poblaciones que alberga, pudiendo diferenciar para cada especie

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 también considerar la escala de paisaje, tratando de diversificar no sólo las condiciones ecológicas dentro de cada tramo, sino sucesivamente de unos tramos a otros dentro de cada río, y de unos ríos a otros dentro de cada cuenca, 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.

4.6.- 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.

En España, los problemas 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 macrófitas (por excesiva eutrofización de las aguas y elevada temperatura).

El propio río dispone de medios para resolver estos problemas, 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, macrófitas, 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 macrófitas.

Restaurar en el régimen de caudales regulado una cierta periodicidad de las avenidas 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 recogidas de las macrófitas del cauce, empleo de herbicidas, etc.

El método Palmiter (Herbkersman, 1984), propone lo siguiente:

1. la utilización de materiales naturales siempre que sea posible (empleo sistemático de la vegetación, o de estructuras con troncos, ramas, piedras sueltas de diferente tamaño, etc.).

2. la actuación selectiva dentro del cauce, añadiendo o eliminando elementos de obstrucción del cauce (truncos 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 (geotextiles, gabiones, escollera suelta con mezcla de tamaños, etc.), para que ésta complete su efecto estabilizador y suministre, entre otras funciones, sombra a las aguas y aporte de materia orgánica al cauce, a la vez que refugio 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, y la ausencia de costos adicionales de mantenimiento, que en obras de ingeniería hidráulica tradicional pueden superar al costo del propio proyecto inicial.

4.7.- 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 el río desarrolla su trazado y se desplaza libremente, desbordándose periódicamente y manteniendo activa la llanura de inundación.

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 riberas o llanuras 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 riberas, 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 de 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.

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 en la mayoría de los casos proceder a un deslinde de las riberas y del dominio público hidráulico.

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 dicho área.

4.8.- Prevenir la degradación de los ríos puede ser menos costoso que proceder a la 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 (E.D.A.R.), 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 (canalizaciones, dragados, etc.) que determinan 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 de 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.

El funcionamiento de estos equipos 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).

4.9.- La restauración de los ríos requiere inversiones para estudios y proyectos, personal especializado y apoyo de las poblaciones ribereñas.

1. 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 presupuesto 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.

2. 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 una cuenca.

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, 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 (Rosgen y Fittante, 1986).

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, haciendo públicos los resultados obtenidos a través 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.

3. 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 el 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).

4.10.- 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. Se puede proponer lo siguiente:

1. los programas de control de la erosión en la cuenca deben ser revisados y acelerados, no sólo para conservar el suelo sino también con el objetivo de restaurar los ríos y riberas afectados.
2. 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.
3. 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.

4. los diques longitudinales o reforzamientos laterales de los cauces no necesarios o poco justificados deben ser destruidos y removidos, para reestablecer las conexiones hidrológicas entre los habitats de las riberas y llanura de inundación y los ríos asociados a ellos.
5. 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 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.

La clasificación de los ecosistemas fluviales dentro de cada cuenca permitirá seleccionar los tramos o ríos más apropiados para restaurar o conservar, siendo en ellos prioritario este objetivo, y complementario o secundario en los restantes.

En la Planificación Hidrológica se deben de crear figuras de protección de los ríos, similares a las recogidas por la legislación de espacios protegidos, introduciendo la de "Parque fluvial" ya existente en otros países mediterráneos (Italia).

Finalmente, la Planificación Hidrológica debe de contemplar partidas presupuestarias para llevar a cabo dicha restauración y conservación de los ríos, destinadas tanto a los estudios y proyectos de restauración propiamente dicha, como a la ordenación de los usos del suelo que afectan a los cauces y riberas fluviales, y a la mejora del comportamiento y percepción social frente a los mismos.

5.- ETAPAS BÁSICAS EN LA RESTAURACIÓN DE LOS RÍOS

La restauración de los ríos tiene como objetivo retornar el cauce a un estado próximo al natural o previamente existente antes de su deterioro.

En nuestro país, un estado natural de los ecosistemas naturales es prácticamente imposible de alcanzar por varios motivos fundamentales:

1. La historia de la transformación del medio por el hombre es muy antigua
2. Desconocemos cómo eran los ríos en condiciones naturales

A estas dos razones podríamos añadir una tercera en relación a los cambios de las condiciones climáticas, que no permiten hoy día la existencia de cauces o vegetación riparia en las condiciones de antaño.

Se trata por consiguiente de restaurar una degradación de los ríos sufrida en las últimas décadas, que afecta a la llanura de inundación y vegetación riparia como al estado físico del cauce, dejando aparte la alteración del medio acuático propiamente dicho en relación a la regulación de los caudales y a la contaminación de las aguas.

En dicha restauración, una vez resuelto el problema de cantidad y calidad de las aguas, debe procederse a dos actuaciones fundamentales:

- la recuperación de la llanura de inundación, con una vegetación adecuada en las riberas fluviales.
- La recuperación de la morfología del cauce, en relación a su sección transversal, perfil, longitudinal, trazado y redistribución de los sedimentos dentro del lecho.

En la restauración de los ríos debemos tener en cuenta las siguientes etapas (Petersen *et al.*, 1992):

5.1- Establecimiento del espacio ripario.

Un primer paso en la restauración de los ríos debe ser el establecimiento o delimitación del espacio ripario, como una banda protectora en cada margen, a lo largo de los cauces, donde no se lleven a cabo actuaciones ajenas a la dinámica fluvial.

Un uso intensivo de la llanura de inundación, fundamentalmente para fines agrícolas, ha conducido a un encajonamiento progresivo de los cauces por rectificación de su trazado, llegando las labores propias de los cultivos o plantaciones de choperas en muchos casos hasta la misma orilla del cauce; y en general a la eliminación de la vegetación riparia, especialmente la arbórea.

La medida de restauración más importante y prioritaria en este caso es alejar dichas actuaciones agrícolas, ganaderas o forestales el cauce, dejando una banda protectora entre ambos donde sea posible llevar a cabo actuaciones posteriores.

Únicamente con dejar este espacio o banda protectora sin cultivar se consiguen varios efectos positivos, como el de la reconsolidación del suelo y mejora de su resistencia a la erosión; la no adición de fertilizantes, o de cualquier otro producto desfavorable a la calidad de las aguas, en las zonas más próximas al cauce; y la recuperación gradual de la vegetación riparia.

En el caso de tramos canalizados, las motas o diques de defensa contra las avenidas deben de dejar un espacio ripario donde pueda desarrollarse la vegetación, en lugar de situarse próximas al cauce formando taludes donde ésta no pueda instalarse (Purseglove, 1988).

5.2- Disminución de las pendientes laterales del cauce.

Un paso inicial en la restauración de los ríos debe ser recrear nuevamente la morfología del cauce, abriendo su sección para facilitar el desplazamiento lateral de las aguas.

A menudo el uso intensivo de la llanura de inundación y la rectificación del trazado del río han determinado procesos de incisión, donde el cauce se ha hecho más profundo y estrecho. Por otra parte, en los trabajos de canalizaciones o dragados el hombre tiende en la mayoría de los casos a disminuir la anchura del cauce, para disponer de mayor espacio aprovechable en la llanura de inundación.

Con estas formas más o menos encajonadas del cauce, y dependiendo de las propiedades geotécnicas del material de las orillas, se forman taludes laterales más o menos pendientes, no hábiles para el establecimiento de la vegetación.

La reducción de tales pendientes, aumentando la anchura superior del cauce para llegar a perfiles 1:4 (pendientes inferiores al 25%), resulta necesario para su estabilidad y favorecer así el crecimiento de la vegetación a partir de sustratos más estables.

Con ello se favorece la conexión gradual del cauce con su llanura de inundación. Al aumentar la anchura de la sección disminuye el calado, y con ello la velocidad de las aguas y su capacidad de transporte. Progresivamente se pasa del proceso de erosión de fondo a un proceso de sedimentación, a través del cual se va elevando el nivel del freático afectando a la llanura de inundación, llegando a quedar comunicada la ribera con el cauce y ser posible su inundación periódica por las crecidas.

La reducción de las pendientes laterales del cauce tiene además otras ventajas, como evitar la rotura de los taludes existentes por inestabilidad geotécnica, disminuyendo con ello la incorporación de

suelo erosionado a las aguas; y la de permitir que dichas partes laterales del cauce actúen como llanura de inundación, donde el río disipa energía durante las crecidas y sedimenta la carga sólida que transporta de tramos de aguas arriba (Brookes, 1989).

El diseño de las secciones transversales puede favorecer la formación de meandros, si se alternan las secciones asimétricas, con una pendiente menor en uno de sus márgenes, con secciones simétricas y secciones nuevamente asimétricas, con el lado de pendiente menor opuesto al anterior.

5.3- Revegetación del espacio ripario.

La revegetación de estos espacios riparios se logra de forma natural en un tiempo más o menos breve, según sean las condiciones del tramo correspondiente.

Pero procediendo a su restauración, la plantación o siembra de dicho espacio ripario con especies nativas de crecimiento rápido acelera notablemente este proceso natural, y debe ser una actuación prioritaria en la recuperación de los ríos.

Se pueden utilizar diferentes especies, tratando siempre de imitar a la Naturaleza observada en los tramos mejor conservados del mismo río o cauces similares, pero es interesante conocer su distinto comportamiento si se atiende al objetivo de conservación de calidad de las aguas.

Los alisos fijan el nitrógeno del aire al suelo mediante una asociación de bacterias-hongo presente en los nódulos de sus raíces, y pueden actuar como fuentes significativas de nitrógeno a las aguas (Dugdale y Dugdale, 1961), mientras que el chopo tremuloides minimiza la salida de nitrógeno del suelo a las aguas (Gosz, 1978).

La revegetación de las riberas debe llevarse a cabo siempre después de la restauración de la morfología del cauce, y teniendo la seguridad de que el espacio ripario o banda donde se lleva a cabo la plantación o siembra está conectado hidrológicamente con el cauce.

La instalación de las plantaciones debe favorecer la estabilidad de las orillas. Si en el proyecto está contemplado un aumento de la sinuosidad del río por sí mismo, estas plantaciones solo deben realizarse en los sectores donde se quiera que el río no avance, dejando sin vegetación los sectores correspondientes al margen externo de los meandros, donde se desea que el río avance libremente para recuperar su sinuosidad.

Pero si el trazado del cauce está logrado, o se desea estabilizar, las plantaciones en el margen de mayor erosión contribuirán a la sujeción de las orillas, siendo en estos tramos donde se deberán reforzar las plantaciones (Staatsministerium des Innern, 1991).

Una característica que presenta la vegetación riparia en condiciones naturales es su “continuidad” a lo largo del curso fluvial, actuando de corredor lineal por donde se desplazan las especies, poniendo en comunicación los distintos tramos del río.

Dicho corredor de vegetación riparia actúa de ecotono entre el medio terrestre de las laderas y el medio acuático del cauce, ejerciendo numerosas funciones (Petts, 1990; Pinay *et al.*, 1990):

1. disminución de los efectos de las avenidas, reteniendo y absorbiendo gran cantidad de agua y sedimentos aportados por las mismas. Este efecto beneficioso desaparece en los tramos canalizados o rectificadas, en los que no existe conexión del cauce con su llanura de inundación.
2. actuación como filtro natural de la contaminación difusa originada en las laderas o llanura de inundación. Los bosques de ribera eliminan gran parte de los nitratos disueltos en las escorrentías subterráneas que circulan a través del espacio ripario.
3. fuente de carbono orgánico para los ríos. La materia vegetal que aporta la ribera al cauce es la base de la cadena trófica en las aguas, teniendo una importancia vital para la fauna macroinvertebrada de los tramos altos.
4. línea de conexión para determinados flujos y desplazamientos de las especies. Una característica del bosque ripario es su conectividad y continuidad, posibilitando el movimiento de las especies dentro del mismo, o la conexión entre diferentes hábitats requeridos por los distintos estados de desarrollo de una misma especie.

Para mantener todas estas funciones del ecotono fluvial es necesario conservar, o en su caso restaurar, una banda continua de vegetación riparia natural que proteja el cauce de las actividades que se llevan a cabo en las laderas más próximas o en la propia llanura de inundación.

El establecimiento de esta banda protectora de los cauces se ha extendido como una práctica habitual, y fase inicial de la restauración y conservación del medio fluvial, en numerosos países de Europa y Norte América (Petersen *et al.*, 1992).

Para lograr la existencia de dicha faja protectora a lo largo de los cauces es necesario delimitar un espacio continuo, de anchura variable (Large y Petts, 1992) donde se introduzca y desarrolle la vegetación riparia natural, facilitando su interrelación con el cauce principal, y donde no se lleven a cabo prácticas ajenas al mantenimiento de dicha vegetación, como el laboreo periódico del suelo, las cortas de la vegetación, el pastoreo, la aplicación de fertilizantes o productos fitosanitarios, la acumulación de sedimentos del río por dragados o la extracción de áridos.

Hoy en día existe una gran preocupación por la contaminación de las aguas por entradas difusas de las escorrentías, que atraviesan superficies agrícolas y transportan hacia los cauces una gran cantidad de nutrientes, determinando una eutrofización crónica y general en toda la red hidrográfica.

Las fajas o bandas continuas de vegetación riparia, que denominamos protectoras, tienen una gran influencia en la calidad del cauce, a través de los siguientes procesos (Nieswand et al., 1990):

1. retención de los sedimentos y nutrientes (disueltos o adheridos a partículas) que llegan a la zona a través de la escorrentía superficial, aumentando las posibilidades de filtración, deposición, infiltración, absorción, adsorción, descomposición y volatilización.
2. reducción de la erosión laminar, de márgenes y de fondo del río, por estabilización de las orillas y disminución de la velocidad de la escorrentía superficial próxima al cauce.
3. alejamiento del cauce de las actividades que suponen un riesgo potencial de contaminación de las aguas.

El efecto de la reducción de nutrientes, especialmente de nitratos, producido por esta banda protectora está muy documentado en bibliografía (Doyle *et al.*, 1977; Peterjohn y Correl, 1984; Pinay y Décamps, 1988;), pero no existe un criterio claro para establecer la anchura que debe tener dicha banda, variable en cada caso.

La función de dichas bandas de vegetación riparia es siempre múltiple, asociada tanto al control de la llegada de nutrientes al cauce o al de la erosión, relacionados con la calidad de las aguas, como al control de la temperatura, entrada de luz, suministro de alimento y hábitat para la vida acuática, etc., relacionados con el funcionamiento ecológico del sistema fluvial.

Según se pretenda potenciar uno o varios de estos efectos, la banda de vegetación riparia debe tener distintas dimensiones (Nieswand *et al.* 1989):

- control de la sedimentación en avenidas: 15 – 60 m.
- control de la erosión de márgenes y del lecho del río: 25 -60 m.
- control de la llegada de nutrientes al cauce: 25 – 65 m.
- protección de los embalses : 25 – 90 m.
- control de la temperatura de las aguas del cauce: 7 – 60 m.
- protección de las especies acuáticas: 7 -15 m.
- protección de la fauna silvestre: 60 – 90 m.

5.4- Recuperación de la sinuosidad del cauce.

Una vez establecida la llanura de inundación, y con ellas una cierta libertad del río para su desplazamiento lateral, el cauce se irá haciendo de forma natural más sinuoso, tratando de establecer un equilibrio entre el trazado y las condiciones del caudal, pendiente longitudinal y características de sus orillas.

En el programa de restauración se puede acelerar este proceso de formación de meandros copiando el estado primitivo del cauce, el cual puede observarse en fotografías aéreas, cartografía u otro tipo de documentación antigua. El trazado de la nueva sinuosidad puede hacerse con maquinaria apropiada, o a través del diseño de secciones transversales que favorezcan el desplazamiento lateral progresivo del cauce hacia un margen y otro, alternativamente.

El diseño de secciones simétricas, alternadas con secciones asimétricas, favorece la formación de meandros al provocar la concentración de las líneas de corriente en las zonas de pozas y su dispersión en los tramos rectos, ente dos meandros consecutivos (Brookes, 1989).

Con la formación de dichos meandros aparece dentro del cauce una gran variabilidad espacial de las condiciones hidráulicas, al dominar los procesos de erosión en los márgenes externos de las curvas, con formación de pozas, y los procesos de sedimentación en los márgenes internos de las curvas o entre curvas. Dichos procesos determinan recíprocamente la formación de secciones asimétricas más o menos triangulares en los meandros, y de secciones simétricas y de formas rectangulares en los tramos rectos intermedios.

Esta variación de condiciones hidráulicas dentro del tramo determina una clasificación de los tamaños dominantes del sustrato en cada punto, según la tensión de arrastre de las aguas a la que están sometidos, favoreciendo la aparición de distintos tipos de hábitats para los organismos acuáticos.

5.5- Formación de rápidos y remansos.

La variación de las condiciones hidráulicas debida al desarrollo de los meandros del cauce favorece la convergencia de las líneas de flujo en las curvas, y su divergencia en los tramos intermedios, entre curvas.

Ello determina la formación de pozas o remansos en los primeros, donde el cauce se hace más profundo y estrecho, con un sustrato dominante más fino e inestable, sometido a una socavación especialmente en aguas bajas; y la formación de rápidos en los tramos rectos entre curvas

consecutivas, donde el cauce es más ancho y menos profundo, debido a la acumulación de sedimentos gruesos.

La formación de rápidos y remansos a lo largo de los cauces es particularmente visible en los lechos de gravas o granulometría gruesa, y reviste un especial interés para el funcionamiento biológico de los mismos.

En los casos donde el río aporta nuevas gravas o sedimentos gruesos procedentes de aguas arriba, y los del propio tramo hayan sido eliminados por dragados anteriores o propia erosión de fondo, se deben añadir al cauce tales sedimentos gruesos, con el fin de que el propio río los redistribuya y forme nuevamente la secuencia de rápidos y remansos, alcanzando de forma natural un equilibrio entre el caudal líquido y su carga sólida en cada sección (Brookes, 1992).

El espaciamiento entre rápidos y remansos puede estimarse entre 5 y 7 veces la anchura del cauce, aunque en cada caso debe observarse la formación natural dentro del propio río en los tramos donde existan.

La incorporación al lecho del río de nuevos sedimentos para la formación de estos rápidos debe estar basada en los principios de morfología y dinámica fluvial, teniendo en cuenta su actuación como una variable más de equilibrio del río.

5.6- Creación de zonas húmedas y bosques aluviales.

Una última fase de la restauración de los ríos en sus tramos bajos debe ser la formación de zonas húmedas conectadas con el propio cauce, y el desarrollo de una vegetación asociada a las crecidas periódicas, con su dinámica propia.

Estas zonas húmedas se forman en las pequeñas depresiones existentes en la llanura de inundación, donde afloran las aguas freáticas y éstas se renuevan periódicamente por efecto de las crecidas del cauce.

La formación y mantenimiento de dichas zonas húmedas puede no ser costosa, y sólo exige un espacio suficiente en la llanura de inundación, teniendo en cuenta que muchas veces, en terrenos agrícolas, dichas zonas son las que presentan con frecuencia problemas de saturación del suelo y encharcamientos, siendo en ellas difícil realizar las prácticas agrícolas.

El desarrollo de estas etapas en la restauración de los ríos debe hacerse de forma conjunta, pero también puede realizarse aisladamente, si no se dispone de medios para llevarlas a cabo conjuntamente.

Respecto a la revegetación de las riberas, en los casos de una restauración completa debe plantearse siempre como una etapa final después de la remodelación de la morfología del cauce.

Pero en los casos en que ésta última no se lleve a cabo, el completar la delimitación de las bandas protectoras del cauce con plantaciones de vegetación riparia natural debe realizarse de forma urgente, con el fin de evitar otro tipo de ocupación indebida en dicho espacio. Con ello también se mejorará la estabilidad de las orillas, y facilitarán las labores de una fase posterior de restauración, en que se aborde la recuperación de la morfología fluvial.

Se debe resaltar también las condiciones favorables que ofrece el propio río para la siembra natural de las riberas y llanuras de inundación mediante la llegada constante de semillas transportadas por los caudales, especialmente los de avenidas. La revegetación acelera el proceso de colonización de las especies, logrando un desarrollo completo en menos tiempo, pero cuando no haya recursos económicos se puede dejar actuar a la propia naturaleza, siempre que está asegurada la no ocupación de la ribera por otras actividades ajenas a su dinámica natural.

También puede dejarse la recuperación de la morfología del cauce a la propia dinámica del río según su régimen de caudales y sedimentos. El río sin controles externos vuelve a recuperar su morfología, relativa a la forma de la sección transversal, al perfil longitudinal, a su trazado y a la redistribución de los sedimentos dentro del lecho, formando rápidos y remansos, en equilibrio con su régimen de caudales.

En las fases de restauración descritas, se trata de acelerar este proceso de recuperación natural, si bien cuando exista una limitación de medios económicos puede procederse únicamente a destruir o eliminar los controles existentes en el cauce y esperar a la recuperación natural, en un plazo más o menos breve según sea la potencia hidráulica del cauce.

La reducción de los taludes laterales del cauce mejora las condiciones de estabilidad y favorece la colonización de las especies riparias por mecanismos naturales.

La recuperación de la sinuosidad, mediante el trazado de secciones transversales apropiadas, ahorra un esfuerzo de maquinaria y movimiento de tierras, dejando al río que efectúe él mismo el trabajo de adaptación de la morfología del cauce a su régimen de caudales, y la redistribución de los sedimentos.

Finalmente, el trabajo de creación de zonas húmedas y bosques aluviales también puede ser asignado al propio río, si se favorece la conexión del río con su llanura de inundación, e impide en ella ciertos usos del suelo ajenos al mantenimiento de la dinámica fluvial.

6.- EFECTOS ECONÓMICOS

Respecto al costo de la restauración, en este caso se debe resaltar las condiciones favorables que ofrece el propio río:

1.- resiembra natural de las riberas y llanuras de inundación mediante la llegada constante de semillas transportadas por los caudales, especialmente los de avenidas. La revegetación acelera el proceso de colonización de las especies, logrando un desarrollo completo en menos tiempo, pero cuando no haya recursos económicos se puede dejar actuar a la propia naturaleza, siempre que está asegurada la no ocupación de la ribera por otras actividades ajenas a su dinámica natural.

2.- recuperación de la morfología del cauce a través de su propia dinámica, según el régimen de caudales y de sedimentos. Los ríos sin controles externos vuelven a recuperar su morfología, relativa a la forma de la sección transversal, al perfil longitudinal, a su trazado y a la redistribución de los sedimentos dentro del lecho, formando rápidos y remansos, en equilibrio con su régimen de caudales.

En las fases de restauración propuestas, se trata de acelerar este proceso de recuperación natural, si bien cuando exista una limitación de medios económicos puede procederse únicamente a destruir o eliminar los controles existentes en el cauce (protecciones laterales. Obras de defensa contra avenidas, escolleras...) y esperar a la recuperación natural, en un plazo más o menos breve según sea la potencia hidráulica del cauce.

El rebajamiento de los taludes del cauce mejora las condiciones de estabilidad y favorece la colonización de las especies riparias por mecanismos naturales.

BIBLIOGRAFÍA

- Amorós,, C., A.L. Roux, J.L. Reygrobellet, J.P. Bravard y G. Pautou. 1987. A Method for Applied Ecological Studies of Fluvial Hydrosystems. *Regulated Rivers*, 1(1):17-36.
- Binder, W. 1991. Rivers and Streams Conservation, Improvement and Poltechnic, Occasional papers in environmental Studies N° 11.
- Boon, P.J. 1992. Essential Elements in the Case for River Conservation. En: *River Conservation and Management*, Boon et al (eds.). 11-34. John Wiley & Sons.
- Brookes, A. 1989. Alternative Channelization Procedures. In: *Alternatives in egulated River Management*. Goere y Petts (eds), 139-162.
- Brookes, A. 1992. Recovery and Restoration of Some Engineered Brithis River Channels. In: *River Conservation and management*. 337-352. P.J. Boon, P. Calow & G.E. Petts (eds.). J. Wiley & Sons. Chichester.
- DeBano, L.F. y L.J. Schmidt. 1989. Improving Southwestern Riparian Areas through Watershed Management. USDA Forest Service, GTR RM-182, Fort Collins, Colorado.
- Directiva 2000/60/CE por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. DO L 327 de 23.10.2000.
- Doyle, R.C., G.C. Stanton y D.C. Wolf. 1977. Effectiveness of forest and grass buffer strip in improving the water quality of manure polluted runoff. *American Society of Agricultural Engineers*, paper n° 77-2501.
- Dugdale, R.C. y V.C. Dugdale. 1961. Sources of phosphorus and nitrogen for lakes on Afognak Island. *Limnology and Oceanography*, 6:13-23.
- García Marín, J.L., P.E. Jorde, N. Ryman, F. Uttrt y C. Pla. 1991. Management implcations of genetic differentiation between native and hatchery populations of brown trout (*Salmo trutta*) in Spain. *Aquaculture*, 95:235-249.
- García de Jalón Lastra, D., M. González Tánago y C. Casado. 1992. Ecology of regulated streams in Spain. An overview. *Limnetica* 8, 161-166.
- González del Tánago del Río, M. y D. García de Jalón Lastra. 1995. Restauración de ríos y riberas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Fundación Conde del Valle de Salazar.
- Gosz, J.R. 1978. Nitrogen inpust to stream water from forest along an elevational gradient in New México. *Water Research*. 12:725-734.
- Gore, J. y G.E. Petts (eds.). 1989 *Alternatives in Regulated River Management*. CRC Press.
- Herbkersman, C.N. 1984. A guide to the George Palmiter river restoration techniques. Institute of Environmental Sciences, Miami University, Oxford, Ohio.
- Hey, R. D. 1994. Environmentally sensitive River Engineering. In: *The Rivers HandbookII*, P. Calow & G.E. Petts (eds.), 337-362. Blackwell Sc. Pulb.
- Hey, R.D. y .G.L. Heritage. 1993. Draft Guidelines for the Design and Restoration of Flood Alleviation Schemes. National Rivers Authority Publ. Bristol.
- House, M. 1991. Urban Rivers: Nature conservation and the use of rivers for recreation. In: *Riverbank Conservation* , M. Hall y M.A. Smith (edt.), 33-38. Hatfield Polytechnic, Occasional Papers in Environmental Studies, 11.
- Large, A.R.G. y G.E. Petts. 1992. Buffer zones for conservation of rivers and bankside habitat. R&D Project Record 340/5/. National Rivers Authority. 69 p.

- Nieswand, G., B. Chavooshian, S. Holler, R. Jordon, M. Olohan, P. Pizor y T. Shelton. 1989. *Watrshed Management Strategies for Ney Jersey*. Pub. The State University of New Jersey.
- Nieswand, G., R. Jordon, T. Shelton, B. Chavooshian y S. Blarr. 1990. Buffer strip to protect water supply reservoirs. *Model and Recomentations*. *Water Resources Bulletin* 26(6):959-966.
- Peterjohn, W.T. y D.L. Correll. 1986. The effect of riparian forest on the volume and chemical composition of baseflow in an agricultural watershed. In: Correll D.L. (ed.) *Watersehd Research Perspectives*, 244-262. Smithsonian Press, Washington D.C.
- Petersen, R.C., L.B.M. Petersen y J. Lacoursiere. 1992. A building-block Model for Stream Restoration. In: *River Conservation and Management*. Boon et al. (eds.), 293-310, John Wiley & Sons.
- Petts, G.E. 1990. The role of ecotones in aquatic lanscape management. In: *The Ecology and management of Aquatic-Terrestrial Ecotones*. R.J. Naiman y H. Décamps (eds.), 227-262. *Man and Biosphere Series*, UNESCO, París.
- Pinay, G. y H. Décamps. 1988. The role of riparian woods in regulating nitrogen fluxes between the alluvial aquifer and surface water. A conceptual model. *Regulated Rivers, Research and management* 2:507-516.
- Pinay, G., H. Décamps, E. chauvet y E. Fustec. 1990. Functions of Ecotones in Fluvial Systems. In: *The Ecology and Management of Aquatid-Terrestrial Ecotones*. Naiman y Décamps (eds.), 141-170. *Man and Biosphere Series*, Vol. 4, UNESCO, París.
- Purseglove, J. 1989. *Tamng the Flood*. Oxford University Press, Oxford.
- Raynov, S., D. Pechinov, Z. Copaliany y R.D. Hey. 1986. *River response to Hydraulic Structures*. UNESCO, París.
- Rosgen, D. y B.L. Fittente. 1986. *Fish habitat structures. A selection guide using stream classification*. *Procs. Fifth Trout Stream Habitat Improvement Workshop*, Lock Haven, Pa.
- Staatsministerium des Innern. 1991. *Flüsse, Bäche, Auen pflegen und gestalten*. *Wasserwirtschaft in Bayern Oberste Baubehörde I*. Bayer.
- Van Haveren, B.P. y W.L. Jackson. 1986. *Concepts in Stream Riparian Rehabilitation*. *Wildlife Management Institute Fifty-first North American Wildlife and natural Resources Conference*, Reno, Nevada.
- Ward, J.V. 1989. The four dimensional nature of lotic ecosystems. *Journal of the North Amarian Benthological Society*, 8:2-8.