
Marta González del Tánago ()*

*Impacto de la agricultura
en los sistemas fluviales. Técnicas
de restauración para la conservación
del suelo y del agua (**)*

**UTILIZACION DE LOS RIOS Y NECESIDADES
DE SU CONSERVACION**

Los ríos han sido siempre muy utilizados por el Hombre, constituyendo hoy día uno de los ecosistemas más modificados y degradados en su estructura y funcionamiento.

A través de los ríos la Naturaleza regula la salida de los excedentes de agua producidos en las laderas, transportando al mismo tiempo, en su seno, gran cantidad de sedimentos y compuestos químicos.

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

(*) Universidad Politécnica de Madrid, España.

(**) Este artículo corresponde a una Conferencia invitada en el Congreso Internacional de Ingeniería Rural, III Congreso Argentino de Ingeniería Rural, VIDA, AMBIENTE Y DESARROLLO, desarrollado en Buenos Aires, Julio de 1994.

Un ejemplo de ello es el efecto de la contaminación atmosférica, produciendo una deposición ácida procedente de las zonas más industrializadas, sobre masas de agua situadas a grandes distancias de donde se ha originado, creando conflictos entre cuencas hidrográficas, o entre países. O el efecto de los trasvases, que conectan unas cuencas con otras modificando por completo el régimen de caudales de los tramos afectados (por abstracción o incorporación del agua trasvasada), y que son concebidos para el desarrollo de 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.

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 y nutrientes que llega a los mismos.

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

Hoy día aparece cada vez con más frecuencia entre los científicos, gestores y políticos, a nivel internacional, la necesidad de conservar los sistemas naturales, siguiendo la Estrategia Mundial para la Conservación (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales, 1980).

Cada vez se hace más necesario 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 periódicos de mantenimiento de los proyectos, a veces muy superiores a los de realización de los mismos).

Son varios los motivos que podemos aludir para justificar la restauración y conservación de los sistemas naturales, entre ellos los que aparecen en la Tabla 1.

TABLA 1

Motivos para la restauración de los ecosistemas naturales (Boon, 1992)

-
1. Mantenimiento de los sistemas que soportan vida.
 2. Valor práctico (ej. control de la erosión, potencial terapéutico, potencial genético para especies cultivadas, etc.).
 3. Importancia económica (ej. minerales, turismo, etc.).
 4. Investigación científica.
 5. Educación.
 6. Valor estético y recreativo.
 7. Consideraciones éticas.
-

Un sistema fluvial ofrece al Hombre no sólo «agua», susceptible de ser embalsada y aprovechada para consumo doméstico, agricultura, producción de energía eléctrica, etc. El río ofrece también toda una serie de recursos y valores cada vez más apreciados (ver Tabla 2), cuyo disfrute y conservación plantean un conflicto de usos del agua.

La planificación hidrológica de cada cuenca, definiendo Objetivos, Criterios de valoración y Condiciones de partida distintos en cada río y, con mayor motivo, en cada cuenca, debe abordar esta problemática, decidiendo los usos del agua no sólo en cuanto a su potencial como recurso hídrico, sino también como elemento fundamental de los ecosistemas acuáticos naturales, que ofrecen al Hombre numerosas oportunidades y valores, traducidos en beneficios económicos, sociales y culturales.

TABLA 2

Recursos y valores que ofrecen los ríos

-
1. Agua.
 2. Movimiento y energía.
 3. Pesca como alimento y actividad deportiva.
 4. Vegetación acuática y de riberas.
 5. Fauna silvestre asociada a la presencia del río.
 6. Sedimentos aluviales.
 7. Valor recreativo (baños, embarcaciones, pic-nic, etc.).
 8. Valor paisajístico.
 9. Valor científico y cultural.
-

IMPORTANCIA DE LA AGRICULTURA Y SU RELACION CON LA GESTION DE LOS RECURSOS HIDRICOS

La agricultura es una de las actividades que más recursos hídricos utiliza, a escala global.

El avance de las tecnologías ha permitido una mayor capacidad humana para la regulación de los caudales de los ríos, aumentando con ello las disponibilidades hídricas mediante presas (regulación en el tiempo) y trasvases (regulación en el espacio), de forma que cada vez es mayor la extensión de cultivos en regadío y la transformación de los sistemas acuáticos naturales.

A modo de ejemplo, podemos referirnos a las inversiones del Banco Mundial, como la mayor fuente internacional de ayudas económicas para el desarrollo de Proyectos relacionados con el Agua, el cual ha dedicado 35 billones de dólares USA (referidos a su valor equivalente en 1993) durante el período 1981-1990 a este tipo de Proyectos, suponiendo el 20% del total de sus préstamos en dicho período (World Rivers Review, 1993).

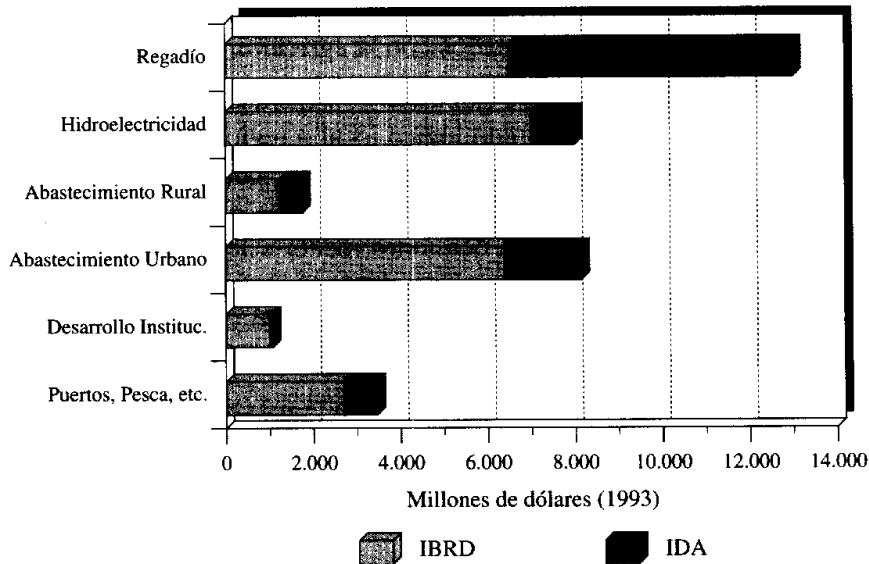
Considerados por sectores, es el regadío la actividad a la que se han dedicado más recursos, seguida a cierta distancia por la producción de energía hidroeléctrica y suministro doméstico (Figura 1). Para tales fines se ha necesitado la construcción de grandes presas, en las que se han invertido 12 billones de dólares USA, que representan casi un tercio del dinero prestado por el Banco Mundial para Proyectos hídricos.

De aquí se deducen varias consideraciones, destacando:

- 1.º El gran desarrollo de la agricultura de regadío, a escala mundial.
- 2.º La necesidad de grandes inversiones económicas para su implementación, requiriendo en la mayoría de los casos la construcción de grandes presas, las cuales representan una fuerte alteración de las condiciones naturales de los ríos (Ward y Standford, 1979; Petts, 1986).

En España la agricultura supone también una de las actividades que más agua utiliza, y para la que se han construido numerosas grandes presas, que afectan a los principales ríos de la Península Ibérica (García de Jalón, 1987; García de Jalón *et al.*, 1992).

FIGURA 1
Préstamos del Banco Mundial en proyectos hidráulicos por sectores



Préstamos del Banco Mundial en el período 1981-1990 (actualizados a su valor en 1993). BIRD: International Bank for Reconstruction and Development. IDA: International Development Association.

En la Planificación Hidrológica de 1990 (MOPU) se contemplaba la ampliación de las hectáreas de regadío (2.957.602 ha actuales a 3.989.966 ha futuras en 1998) y la construcción de numerosos proyectos de regulación hídrica, mediante nuevas presas y trasvases para satisfacer el aumento de la demanda agraria.

Hoy día, y dentro del marco de «desarrollo sostenible» surgido en la Conferencia sobre el Medio Ambiente de las Naciones Unidas en Río de Janeiro, 1992, no se puede abordar de forma aislada el objetivo de aumentar la producción agrícola, sin contemplar cuáles son sus efectos sobre todo el entorno, en términos ecológicos, sociales y económicos.

Las actividades agrícolas afectan sobremanera a la conservación de los recursos hídricos y sistemas fluviales, debiendo considerar su efecto tanto a escala de cuenca vertiente, para su planificación y gestión con

finés hidrológicos, como a escala de río o curso fluvial, para su aprovechamiento y conservación.

En el manejo y ordenación de cuencas es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos relacionados con la agricultura (Solbé, 1986):

- 1.º Las zonas de regadío de extensión e intensidad creciente modifican por completo el ciclo hidrológico local o regional, suponiendo una entrada de agua mucho mayor que la correspondiente a las precipitaciones, procedente de zonas a veces muy alejadas de donde se aplica; una retención en ocasiones menor a la primitiva, debido a frecuentes drenajes; y una tasa de evapotranspiración mayor, fomentada por una mayor humedad en el suelo y una mayor biomasa y productividad de la cubierta vegetal (Shanan, 1987).
- 2.º Las actividades agrícolas suponen en la mayoría de los casos una fuente importante de contaminación difusa de las aguas, al incluir el aporte de fertilizantes, pesticidas, etc., que son transportados por las escorrentías hacia los cauces (US Department of Agriculture, 1985).
- 3.º La agricultura, especialmente en zonas de regadío, acrecienta el valor de los terrenos limítrofes a los cauces, justificando el dragado, rectificación, canalización, etc., de muchos tramos de río, como obras de drenaje o de defensa contra las avenidas e inundaciones de los campos agrícolas.
- 4.º La producción agrícola intensiva requiere mucha «agua», exigiendo la construcción de embalses o explotación intensiva de acuíferos, que alteran profundamente los sistemas fluviales de superficie (ríos) y las reservas hídricas del subsuelo (acuíferos).

Refiriéndonos ya a la escala de río o sistema fluvial propiamente dicho, hay que considerar la Agricultura como un uso o tipo de ocupación más de la llanura de inundación y, como tal, en conflicto o compitiendo por el «espacio» con el bosque ripario natural.

El impacto de las actividades agrícolas, en este caso, es proporcional al grado de ocupación o eliminación de este bosque ripario, suponiendo una reducción parcial o total de la vegetación riparia y de sus funciones asociadas al comportamiento general del sistema fluvial.

Podríamos decir que la agricultura, en la medida que determine la eliminación del bosque ripario, puede tener los siguientes efectos en los ríos:

- 1.º Erosión e inestabilidad en los márgenes agrícolas, al tratarse de suelos removidos y sueltos (laboreados), favorables al crecimiento de los cultivos agrícolas pero no preparados para la remoción y transporte por las avenidas.
- 2.º Aumento de la llegada de sedimentos y nutrientes a los cauces, al eliminar parte de la vegetación capaz de retener y aprovechar dichos sedimentos o nutrientes transportados por las escorrentías.
- 3.º Reducción del hábitat para la fauna acuática y disminución del aporte de residuos orgánicos a las aguas que influyen en las características físicas (hidráulicas) y ecológicas (alimento) del medio acuático.
- 4.º Disminución de la fauna silvestre asociada a las riberas, especialmente la avifauna, ligada a una disponibilidad de alimento y refugio que ofrece el bosque ripario o de transición a los sistemas agrícolas (Anderson, *et al.*, 1984).
- 5.º Aumento de la temperatura y llegada de luz a las aguas, al eliminar la sombra de árboles y arbustos en las orillas, facilitando el crecimiento de algas y macrofitas sumergidas y agravando los problemas asociados a la eutrofización.
- 6.º Canalizaciones y dragados del cauce por parte de los agricultores ribereños, que pueden provocar procesos de erosión de fondo e incisión de cauces, o modificar su trazado hacia aguas abajo reduciendo el espacio ripario (Brookes, 1994).

Indudablemente las poblaciones humanas necesitan de la agricultura para su supervivencia, y, a escala mundial, se tiende a intensificar la producción agrícola en los terrenos más fértiles o adecuados para ello.

No obstante, la mayor eficacia y capacidad de las técnicas agrícolas, junto a una mejor comprensión del funcionamiento de los sistemas fluviales, permite hoy día plantear sistemas y aprovechamientos agrícolas rentables, que mantengan la integridad de los ecosistemas acuáticos en términos de su estructura y funcionamiento (Phillips, 1986; Bainbridge, 1990).

ESTRATEGIAS DE RESTAURACION DE LOS RIOS AFECTADOS POR LA AGRICULTURA

Primera estrategia: Bio-asimilación

Indudablemente, uno de los efectos de la agricultura de mayor impacto en los ríos es el de contaminación difusa, determinando la llegada de grandes cantidades de nutrientes y contaminantes de origen agrícola (sedimentos, pesticidas, etc.) a las aguas (US Department of Agriculture, 1985).

En la «eliminación» de contaminantes, las estrategias utilizadas tradicionalmente se basan en el aislamiento, remoción, transporte y dilución de los contaminantes, a través del espacio o del tiempo (Herrick y Osborne, 1985). Estos procesos necesitan ser realizados en plantas o estaciones de tratamiento, donde la contaminación se centraliza, para una mayor eficacia y rentabilidad económica.

Ello es factible partiendo de focos puntuales de contaminación (ej. vertidos industriales o urbanos), pero para el caso de la agricultura resulta imposible en la práctica, ya que la contaminación en este caso llega de forma continua a lo largo del trazado del río, moviéndose con las escorrentías.

La estrategia de restauración en este caso exige un enfoque distinto, basado en el concepto de «bio-asimilación», en el que se incorporan procesos naturales físicos y biológicos para reducir, transformar o acumular contaminantes en el suelo, antes de su entrada en el medio acuático (Osborne y Kovacic, 1993).

Dentro del contexto de la bio-asimilación se plantean diversas técnicas (ej. filtros verdes, balsas depuradoras, etc.), destacando, en el caso de la restauración y conservación de los ríos, el uso de bandas protectoras de vegetación riparia (*buffer-strips*), aceptadas como una práctica de manejo en zonas agrícolas dentro del Programa de Conservación de Reservas Naturales de los Estados Unidos (Prato y Shi, 1990).

Qué son y para qué sirven las bandas protectoras de vegetación riparia («buffer-strips»)

Una banda protectora, «buffer-strip», es un término de referencia que alude a las zonas ininterrumpidas de vegetación permanente resis-

tente a la erosión, que existen entre un curso de agua y un área de uso del suelo intensivo (EPA, 1984).

Cuando permanecen en su estado natural, las bandas de vegetación que flanquean el borde de los ríos, lagos o zonas húmedas, ayudan a proteger o tamponar los recursos hídricos y sistemas acuáticos, frente a la contaminación y los impactos procedentes del uso del suelo de los terrenos adyacentes.

En realidad, estas bandas protectoras no son más que la propia estructura natural del río a lo largo del cauce, constituida por la vegetación riparia, que forma un sistema de ecotono entre el medio acuático y el medio terrestre colindante.

La utilidad de estas zonas o bandas protectoras radica en las funciones que realiza la vegetación dentro de ellas, entre las que cabe destacar (Osborne y Kovacic, 1993; Barling y Moore, 1994).

A) *Control de la temperatura de las aguas*

Las bandas con vegetación riparia arbórea controlan la entrada de radiación solar y disminuyen la llegada de luz y las fluctuaciones de temperatura de las aguas, tanto diarias como estacionales.

A modo de ejemplo, podemos referirnos a la Tabla 3, donde se evidencia la disminución de las fluctuaciones de la temperatura en las aguas del río, diarias y estacionales, cuando éstas discurren bajo tramos arbolados o en tramos abiertos, desprovistos de vegetación.

La temperatura es en muchos casos el factor principal determinando la composición de las poblaciones piscícolas, a través de su relación con el contenido de oxígeno disuelto en las aguas, y contribuye notablemente al crecimiento masivo de macrofitas sumergidas en aguas eutróficas.

La sombra que ofrece a las aguas la vegetación arbórea de las orillas de los ríos sirve de factor regulador de la temperatura, y como tal se propone para el control del crecimiento de macrofitas sumergidas (Dawson y Kern-Hansen, 1979).

TABLA 3
Temperaturas medias (°C) del agua en Plynlimon (Inglaterra)
(Maitland *et al.*, 1990)

	Wye (Pastizal)	Severn (Bosque)
<i>A) Medias mensuales:</i>		
Octubre, 1978	9,7	8,8
Noviembre	7,6	7,2
Diciembre	3,8	4,3
Enero, 1979	1,2	1,8
Febrero	0,9	1,3
Marzo	3,1	2,7
Abril	6,3	4,7
Mayo	8,1	6,5
Junio	11,9	10,4
Julio	14,7	13,3
Agosto	11,9	10,7
Septiembre	11,4	9,7
<i>B) Medias estacionales:</i>		
Invierno	1,9	2,5
Primavera	5,8	4,6
Verano	12,8	11,5
Otoño	9,6	8,6

Indudablemente, la magnitud del efecto de regulación de la temperatura de las aguas dependerá del lugar geográfico en que nos encontremos, y de la dimensión de la banda arbolada en relación a la anchura del cauce.

De forma general, y con esta finalidad, se puede recomendar una dimensión de la banda riparia entre 10 y 30 metros de anchura, dependiendo de la anchura del cauce correspondiente (US Department of the Army, 1991).

B) Reducción de los sedimentos

La presencia de una banda de vegetación próxima al río favorece los procesos de sedimentación, actuando de filtro de las escorrentías superficiales.

La parte aérea de la vegetación, unida a los residuos orgánicos que aporta sobre el suelo, determina una mayor rugosidad y resistencia al paso de las aguas, disminuyendo su velocidad, con lo que se favorece la infiltración y la retención de sedimentos (ver Gray y Leiser, 1989, capítulo 3).

Son muchos los trabajos publicados donde se analiza el efecto beneficioso de la vegetación en las orillas de los cauces, dando mayor cohesión al suelo mediante su sistema radical, ofreciendo una superficie menos rugosa que favorece la salida de las avenidas cuando se trata de vegetación herbácea o flexible (Gray *et al.*, 1991), y favoreciendo la retención de sedimentos en la llanura de inundación.

Dillaha *et al.*, (1989), Magette *et al.*, (1989) y otros muchos autores han analizado la capacidad de retención de sedimentos de las bandas protectoras de vegetación riparia, concluyendo que la sedimentación es máxima en los primeros metros de la banda, depende de la pendiente y su eficacia va disminuyendo según se va colmatando con la llegada sucesiva de sedimentos.

En términos generales, y para el objetivo de reducir la llegada de sedimentos a los cauces, se puede proponer una anchura de banda protectora entre 10 y 40 metros, en función de la pendiente (Karr y Schlosser, 1977).

C) Reducción de los nutrientes

Finalmente, es la reducción de los nutrientes que llegan a los cauces procedentes de las actividades agrícolas quizás el principal objetivo de la instalación de estas bandas protectoras, dada la magnitud del problema de la eutrofización de las aguas, a escala global.

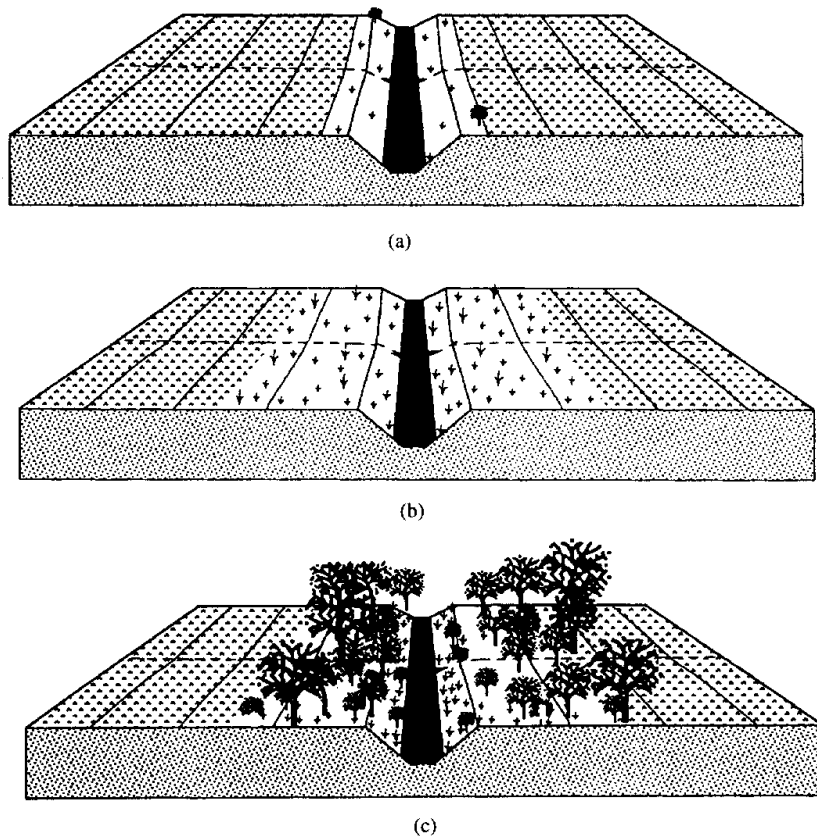
La vegetación riparia es capaz de retener y aprovechar el fósforo que llega absorbido a los sedimentos, y absorber gran parte de los nitratos disueltos en las escorrentías, con lo cual reduce la entrada de estos nutrientes a las aguas de los ríos, en elevados porcentajes según la dimensión de la banda riparia, su pendiente y la carga de nutrientes que llega de la ladera (US Departmento of the Army, 1991).

La utilización de las bandas riparias (buffer-strips) para el control de la contaminación difusa de origen agrícola, se está extendiendo ampliamente en Europa, habiendo sido demostrada su eficacia para la reducción de nutrientes, por numerosos investigadores.

Petersen *et al.*, (1992) proponen, como primera fase de la restauración de los ríos afectados por la agricultura, el establecimiento y revegetación de las bandas riparias, como aparece representado en la Figura 2.

FIGURA 2

Etapas en la restauración de los ríos



- a) Tramos canaliformes.
- b) Delimitación de bandas protectoras del cauce.
- c) Revegetación de dichas bandas riparias (Petersen *et al.*, 1992).

Unicamente 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.

Segunda estrategia: restauración de la morfología fluvial

Como ya hemos comentado anteriormente, el efecto de la agricultura sobre los ríos no sólo altera la «calidad» de las aguas, en términos de sólidos en suspensión, nutrientes, etc., sino que afecta también a otros componentes del ecosistema fluvial, como la morfología del cauce y su vegetación riparia.

Las canalizaciones y dragados de los cauces tienen dos finalidades primordiales, la defensa de avenidas y la mejora del drenaje, siendo quizás la primera la que más afecta a los ríos de mayor magnitud.

En Europa, prácticamente todos los grandes ríos están canalizados en gran parte de su recorrido, y así sucede en los principales cursos fluviales de Estados Unidos (Brookes, 1988).

Hoy día, las prácticas tradicionales de ingeniería hidráulica están en franca revisión, y se proponen otros métodos de control de las avenidas que no van en contra, sino a favor, de la dinámica fluvial (Hey, 1994).

La defensa de los cultivos agrícolas situados en los terrenos más fértiles, como son los de la llanura de inundación, ha justificado también en España los proyectos mayores de canalización de ríos (ej. río Segura), sin tener en cuenta el deterioro ecológico que originan y su poca eficacia a medio o largo plazo, en términos hidráulicos y económicos (Brookes, 1994).

Las canalizaciones incrementan la pendiente del cauce, al disminuir su longitud en el tramo canalizado, y suponen la rectificación de la sección transversal, generalmente tendiendo a secciones trapezoidales más eficaces en el transporte de las aguas.

Los problemas de los tramos de ríos canalizados se centran, desde un punto de vista geomorfológico, en dos aspectos:

- Secciones excesivamente amplias, calculadas para avenidas de períodos de retornos largos (baja frecuencia), estando desocupadas gran parte del año y expuestas a ocupaciones indebidas, acumulación de basuras y escombros, a la profusión de macrofitas emergentes, que en momentos de avenida suponen un gran obstáculo al paso de las aguas.
- Pendientes longitudinales excesivas, por encima de un umbral de equilibrio, que determinan en muchos casos: (1) aguas arriba, procesos de erosión remontante; (2) en el propio tramo canalizado, ensanchamiento progresivo de la sección transversal, debido al retraimiento de las orillas por incisión del cauce; y (3) aguas abajo, procesos de sedimentación de los materiales erosionados en márgenes y lecho de aguas arriba (Brookes, 1994).

Las técnicas de restauración en este caso deben centrarse en reponer, dentro del tramo o río canalizado, el gradiente longitudinal primitivo, recreando los meandros y el trazado original del cauce, en equilibrio con el régimen de caudales y la diferencia de cotas existente a lo largo de su recorrido.

La pendiente es quizás la variable hidráulica que más influye en la dinámica fluvial, dependiendo de ella la velocidad de las aguas y su tensión de arrastre.

Por ello es necesario restituir el trazado del cauce, para conseguir su estabilidad longitudinal y transversal, e introducir dentro del lecho del río una secuencia de rápidos y remansos, que también contribuyen al equilibrio morfológico de la pendiente del río, y a la vez suponen un componente fundamental del sustrato para la diversidad de hábitats y fauna acuática.

Etapas en la restauración de la morfología fluvial

A) *Diseño de secciones transversales favorables, rebajando la pendiente de los taludes laterales*

La sección transversal «ideal» debe corresponder a la sección ocupada por las avenidas ordinarias, de recurrencia 1 a 2 años, ofreciendo

entre su nivel superior («bankfull stage») y el de aguas bajas una diversidad de condiciones hidráulicas, en términos de profundidad, granulometría del sustrato, velocidad de la corriente, etc., máximas para una mayor biodiversidad.

Avenidas superiores a las ordinarias deben tener cabida en la llanura de inundación, o parte superior de la sección transversal dispuesta para ello, donde se desbordan las aguas disipando su energía, en un espacio con capacidad de «almacenamiento» de agua y retención de sedimentos, ocupado por la vegetación riparia o bosque aluvial, y conectado funcionalmente con el propio cauce, por donde circulan las aguas durante el resto del año.

El rebajamiento de la pendiente de los taludes laterales, aumentando la anchura superior del cauce para llegar a perfiles 1:4 (pendientes inferiores a 25%), favorece la estabilidad de las orillas y el asentamiento de la vegetación, sobre sustratos más estables y con mayor humedad edáfica.

Un excesivo ensanchamiento de la sección actual, por efecto de canalizaciones, pastoreo, etc., debe ser rectificado logrando secciones más favorables (Figura 3), donde se concentren las aguas, se eviten procesos de sedimentación dentro del lecho y se creen condiciones hidráulicas más favorables para la fauna acuática.

Un excesivo encajonamiento, debido a procesos de incisión del cauce, exige el rebajamiento de los taludes laterales del cauce hasta lograr unas condiciones de estabilidad geotécnica de los mismos, la conexión freática del subsuelo para el desarrollo de la vegetación riparia, y la conexión funcional con el medio acuático (Figura 4).

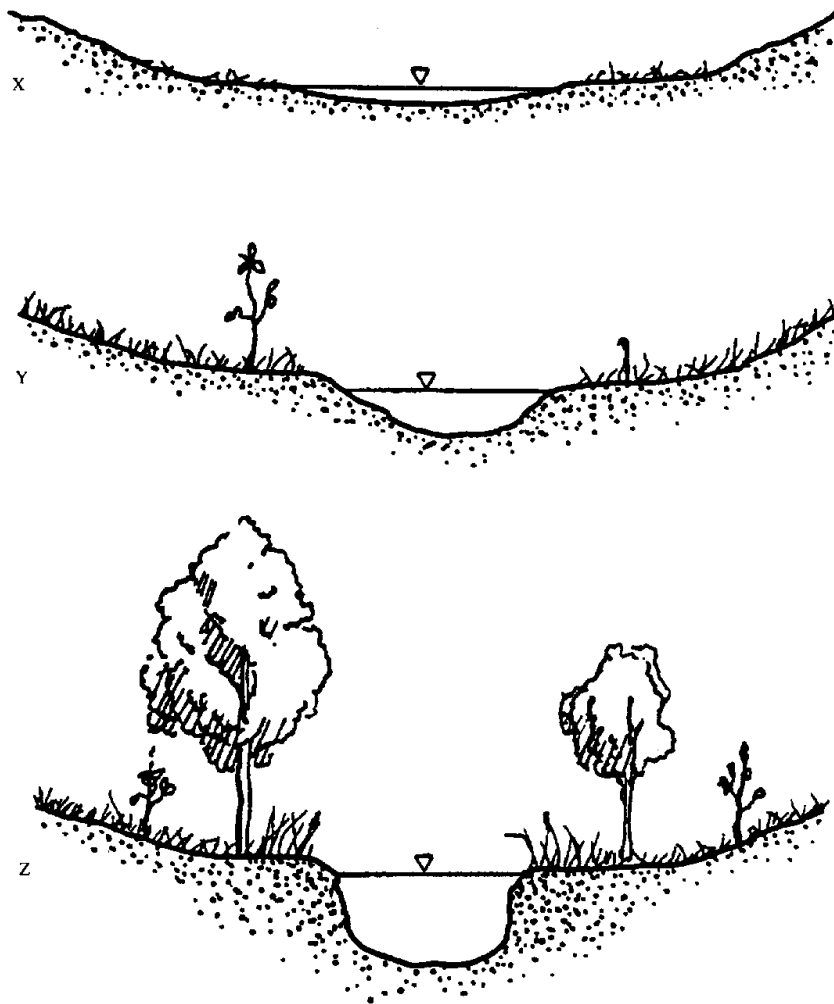
B) *Recuperación de la sinuosidad del cauce*

Cuando se rectifican las secciones transversales del cauce, el río gana libertad para desplazarse lateralmente formando sus propios meandros, como sucede en la Naturaleza.

No obstante, se puede acelerar este proceso recreando directamente el trazado del río, con la ayuda de fotografías aéreas o documentos anteriores a la canalización o rectificación.

FIGURA 3

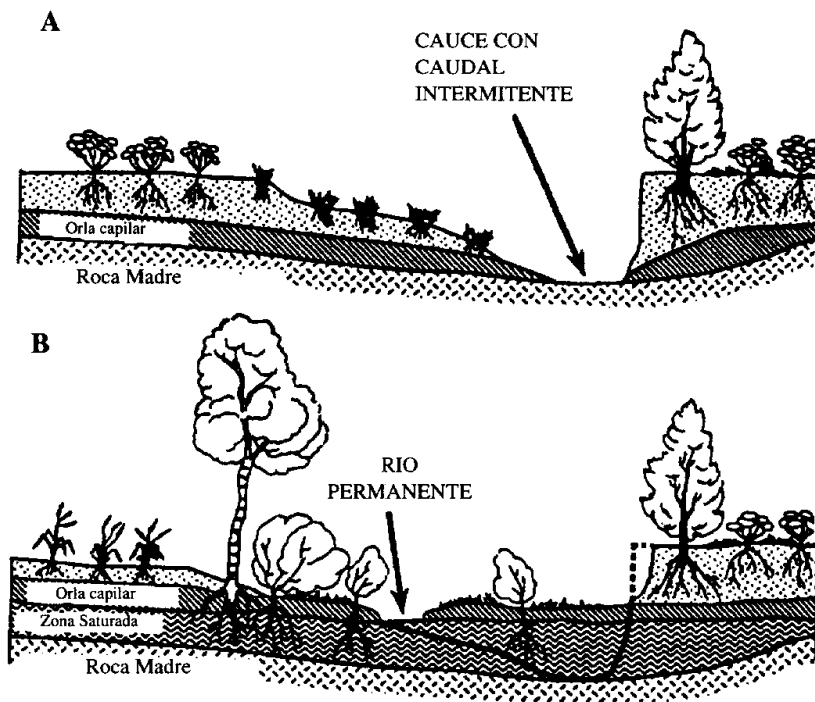
Restauración de una sección transversal del cauce excesivamente ancha, logrando un perfil estable y más favorable para la ecología del río
(Van Haveren y Jackson, 1986)



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 (Figura 5).

FIGURA 4

Recuperación de un río con problemas de incisión, logrando secciones transversales estables y que conectan las riberas con su acuífero (Sedell *et al.*, 1991)



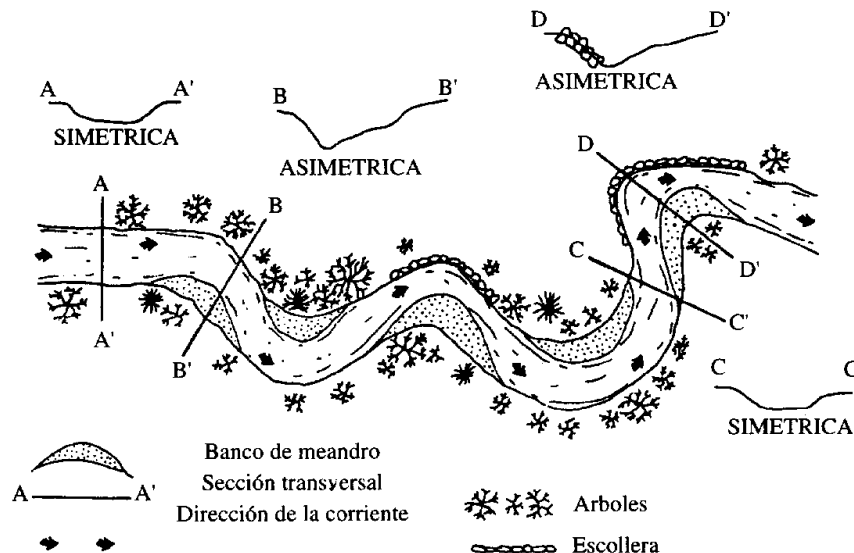
Las secciones triangulares, asimétricas, favorecen la concentración del flujo en su parte más profunda, determinando el desplazamiento lateral del cauce (creación del meandro) por erosión en dicha orilla y sedimentación en la opuesta.

Las secciones rectangulares, simétricas, favorecen la aparición de flujos divergentes entre meandros, que determinan la sedimentación en la zona central, y una cierta erosión en los márgenes.

Alternando unas secciones con otras, como sucede en los ríos sinuosos (Figura 5), se favorece el desarrollo de los meandros hasta conseguir el equilibrio de la pendiente longitudinal del río.

FIGURA 5

Forma de las secciones transversales en relación al trazado del cauce, que debe tenerse en cuenta en la recuperación de la sinuosidad de los ríos (Brookes, 1989)



La estabilización definitiva de los márgenes puede alcanzarse con la vegetación riparia, dispuesta en ambas orillas, o con la ayuda de estructuras combinadas que marcan puntos fijos del río, protegiendo los usos del suelo de los terrenos limítrofes.

C) Formación de rápidos y remansos

En momentos de avenidas el río redistribuye los sedimentos del lecho formando una secuencia de rápidos y remansos, especialmente en los tramos de gravas.

Estos rápidos y remansos se forman simultáneamente con los meandros, correspondiendo los primeros a los tramos rectos, entre meandros, donde el cauce se hace más ancho y menos profundo, debido a la acumulación de sedimentos gruesos; y correspondientes los segundos a los

tramos de curva, donde el flujo se concentra alternativamente hacia una orilla y otra, formando secciones más estrechas y profundas, debido a la erosión y remoción en parte del lecho (Figura 6).

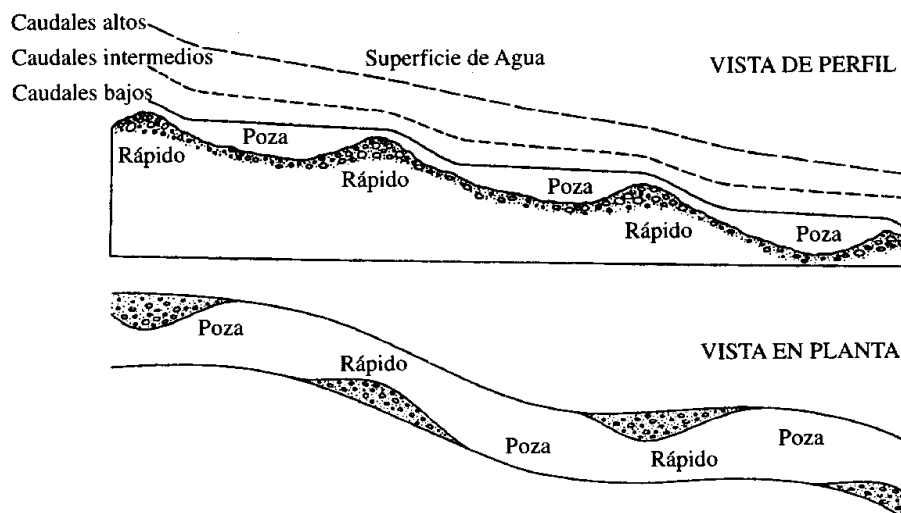
Cuando el propio río no aporte gravas o sedimentos gruesos, y los del propio tramo hayan sido eliminados por dragados anteriores o propia erosión de fondo, se deben añadir al cauce tales sedimentos gruesos, con el fin de que el propio río los redistribuya y forme nuevamente esta secuencia de rápidos (donde se acumulan) y remansos (pozas).

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 formación de rápidos y remansos, además de ser una característica de equilibrio geomorfológico del propio río, tiene una gran importancia en la diversidad de hábitats y especies que viven en las aguas. Los rápidos son zonas muy productoras para los macroinvertebrados, siendo por ello una fuente principal de alimento para muchos peces. Los re-

FIGURA 6

Perfil longitudinal y en planta de un cauce, mostrando la secuencia de rápidos y remansos (Dunne y Leopold, 1978)



mansos ofrecen una mayor profundidad de las aguas requerida por los individuos de mayor tamaño, teniendo una gran importancia como refugio para numerosas especies.

Tercera estrategia: fomento de una agricultura «Biológica»

Finalmente, como una tercera estrategia de carácter mucho más general que las dos anteriores, podemos plantear la de *prevenir* los efectos desfavorables de la agricultura sobre los sistemas naturales, fomentando o promoviendo unas prácticas agrícolas que podríamos llamar ecológicas, o más respetuosas con la Naturaleza.

Ello enlaza con un concepto que mencionábamos inicialmente, el de desarrollo sostenible, bajo el cual se pone en tela de juicio el objetivo de «incrementar la producción agrícola», a través de:

- aumentar el uso de fertilizantes químicos y pesticidas;
- aumentar el uso de alimentos concentrados, y
- una mecanización intensiva.

A partir de la Segunda Guerra Mundial, el énfasis en el desarrollo de la Agricultura pasó de estar en el incremento de la producción a estar en el incremento de la productividad, especialmente en el rendimiento por persona y por hectárea, logrando así mayores beneficios, incluso ante un mantenimiento de los precios de venta y un aumento de los costes de producción.

Esta tendencia hacia una mayor producción y productividad ha ignorado los daños causados al medio ambiente, y hoy día las sociedades más avanzadas piden una reflexión, proponiendo prácticas agrícolas menos intensivas, que alteren en menor medida el recurso suelo (evitando procesos de erosión, salinización, desertización, etc.) y el recurso agua (evitando interferencias en los balances hídricos, la contaminación de las aguas, fomentando la regularización de los niveles freáticos, etc.).

En este sentido, las técnicas de restauración ambiental que se proponen para la agricultura se refieren a (Brainbridge, 1990):

- Subsolados que rompan los suelos compactados y faciliten el crecimiento de las raíces.
-

- Uso de los residuos orgánicos para reestablecer la materia orgánica en los suelos y su actividad biológica, y mejorar su estructura.
- Fomento a la fijación de nitrógeno por medios biológicos, como alternativa a los fertilizantes químicos.
- Conversión de los arados de vertedera hacia laboreos de conservación.
- Establecimiento de programas de rotación de cultivos.
- Introducción de cultivos múltiples, o inter-cultivos.
- Desarrollo de programas integrados de control de plagas, que maximicen el uso de agentes biológicos y minimicen el de productos químicos.
- Establecimiento de estructuras lineales de vegetación, como cortafuegos, límites de campos, o márgenes de cauces de drenaje, para controlar la erosión.

Cabe añadir, como una técnica más de restauración ambiental, esperando en este caso los resultados a medio plazo, la educación de las personas que trabajan en la agricultura, ofreciéndoles información, cursos de demostración, entrenamiento, etc., acerca de cómo funcionan los sistemas naturales, cuáles son los efectos de producen las prácticas agrícolas, y cómo pueden controlarse o aminorarse, bajo una perspectiva de aprovechamiento y conservación del medio ambiente.

Por último, y a modo de ejemplo, es interesante mencionar como estrategia de prevención de los efectos desfavorables de la agricultura en los sistemas naturales, el Reglamento de Política Agraria de la Comunidad Europea núm. 2078/92 (Diario Oficial de las Comunidades Europeas, núm. L. 215/85-90). Dicho Reglamento se refiere al fomento de métodos de producción agraria compatibles con las exigencias de la protección del medio ambiente y la conservación del espacio natural, y establece un régimen de ayudas y subvenciones para los agricultores que se comprometan a las finalidades que establece.

Explícitamente alude a «fomentar una reducción considerable del uso de fertilizantes o de productos fitosanitarios, o la utilización de métodos

de agricultura biológica» que, entre otros fines, contribuye a la disminución de los riesgos de contaminación derivados de la agricultura.

En dicho Reglamento se considera, asimismo, que «la introducción de unas normas de buena conducta agraria también pueden contribuir a que los métodos de producción sean más compatibles con las exigencias de protección del medio ambiente», con vistas a la aplicación de un código de buena conducta agraria y a la agricultura biológica.

En España se han acogido a este Reglamento diversos Programas, siendo algunos de ámbito regional, con fines específicos en cada zona, y tres de ámbito nacional, plasmados en los respectivos Reales Decretos 51/95 de medidas horizontales para fomentar métodos de producción agraria compatibles con el medio ambiente, 632/95 relativo a métodos de producción agraria en zonas de influencia de Parques Nacionales y 928/95, cuyo ámbito son los humedales establecidos por el Convenio de Ramsar y las zonas especiales de protección de aves (ZEPAS).

Quizás la reducción de la producción o de la productividad agraria no sea un objetivo posible para muchos países o poblaciones humanas, pero sí debe serlo siempre el reducir los efectos desfavorables de sus actuaciones en el medio ambiente, y fomentar el estudio, la investigación de nuevas técnicas y la difusión de los resultados que contribuyan a un mayor respeto y conservación de la Naturaleza.

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, B. W.; OHMART, R. D. y ALLEN, H. A. (1984): «Riparian Birds in the Riparian/Agricultural Interface», en *California Riparian Systems*. R. E. Warner y K. M. Hendrix (eds.), 190-195, Univ. California Press.
- BAINBRIDGE, D. A. (1990): «The Restoration of Agricultural Lands and Drylands», en *Environmental Restoration. Science and strategies for restoring the earth*. J. J. Berger (ed.), pp. 4-13. Island Press, Washington, DC.
- BARLING, R. D. y MOORE, I. D. (1994): «Role of Buffer Strips in management of waterway pollution: A review», *Environmental Management*, 18(4): pp. 543-558.
- BOON, P. J. (1992): «Essential Elements in the Case for River Conservation», en *River Conservation and Management*. P. J. Boon, P. Calow y G. E. Petts (eds.), pp. 11-34. John Wilen & sons, Chichester.
-

- BROOKES, A. (1988): *Channelized Rivers. Perspectives for Environmental Management*. John Wiley & sons, Chichester.
- (1989): «Alternative Channelization Procedures», en *Alternatives in Regulated River Management*. J. Gore y G. E. Petts (eds.), pp. 139-162. CRC Press, Florida.
- (1994): «River Channel Change», en *The Rivers Handbook*, vol. 2. P. Calow y G. E. Petts (eds.), pp. 55-75. Blackwell Sc. Publ., Oxford.
- DAWSON, F. H. y KERN-HANSEN, U. (1979): «The effect of natural and artificial shade on the macrophytes of lowland streams and the use of shade as a management technique», *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie*, 64: pp. 437-455.
- DILLAHA, T. A.; RENEAU, R. B.; MOSTAGHIMI, S. y LEE, D. (1989): «Vegetative filter strips for agricultural nonpoint source pollution control», *Transactions of the American Society of Agriculture Engineers*, 32: pp. 513-519.
- DUNNE, T. y LEOPOLD, L. B. (1978): *Water in Environmental Planning*. Freeman and Company, New York.
- EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY) (1984): Report to Congress: Nonpoint Source Pollution in the U.S. Water Planning Division.
- GARCÍA DE JALÓN, D. (1987): «River Regulation in Spain», *Regulated Rivers, Research and Management*, 4(1): 343-348.
- ; GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M. y CASADO, C. (1992): «Ecology of regulated streams in Spain: An overview», *Limnetica*, 8: 161-166.
- GRAY, D. H. y LEISER, A. T. (1989): *Biotechnical Slope Protection and Erosion Control*. Robert E. Krieger Publ. Co., Malabar, Florida.
- ; MACDONALD, A.; THOMANN, T.; BLATZ, I. y SHIELDS, F. D. (1991): *The Effects of vegetation on the structural integrity of sandy levees*. Department of the Army, TR REMR-EI-5, Washington DC.
- HERRICKS, E. E. y OSBORNE, L. L. (1985): «Water quality restoration and protection in streams and rivers», en *The Restoration of Rivers and Streams: Theories and Experience*, J. A. Gore (ed.), pp. 1-20. Butterworth Publ., Boston.
- HEY, R. D. (1994): «Environmentally Sensitive River Engineering», en: *The Rivers Handbook*, vol. 2. P. Calow y G. E. Petts (eds.), pp. 337-362. Blackwell Sc. Publ., Oxford.
- KARR, J. R. y SCHLOSSER, I. J. (1977): *Impact of near-stream vegetation and stream morphology on water quality and stream biota*. U.S. Environmental Protection Agency Report 600/3-77-097, Washington DC.
-

- MAGETTE, W. L.; BRINSFIELD, R. B.; PALME, R. E. y WOOD, J. D. (1989): «Nutrient and sediment removal by vegetated filter strips», *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 32: pp. 663-667.
- MAITLAND, P. S.; NEWSON, M. D. y BEST, G. A. (1990): *The impact of afforestation and forestry practice on freshwater habitats*. Nature Conservancy Council, núm. 23, Peterborough, U.K.
- MOPU (MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO) (1990): *Plan Hidrológico. Síntesis de la documentación básica*. Publ. MOPU, Madrid.
- OSBORNE, L. L. y KOVACIC, D. A. (1993): «Riparian vegetated buffer strips in water-quality restoration and stream management», *Freshwater Biology*, 29: pp. 243-258.
- PETERSON, R. C.; PETERSEN, L. B. M. y LACOURSIERE, J. (1992): «A Building-block Model for Stream Restoration», en *River Conservation and Management*, P. J. Boon, P. Calow y G. E. Petts (eds.), pp. 293-310, John Wiley & sons, Chichester.
- PETTS, G. E. (1986): *Impounded Rivers. Perspectives for Ecological Management*. John Wiley & sons, Chichester.
- PHILLIPS, V. R. (1986): «Remedies to problems caused by agriculture: The engineering solution», en *Effects of Land use on Fresh Waters*, J. F. de L. G. Solbé (ed.), pp. 315-328. Publ. Water Research Centre, Ellis Horwood Limited, Chichester.
- PRATO, T. y SHI, H. (1990): «A comparison of erosion and water pollution control strategies for an agricultural watershed», *Water Resources Research*, 26: pp. 199-205.
- SEDELL, J. R.; STEEDMAN, R. J.; REIGER, H. A. y GREGORY, S. V. (1991): «Restoration of human impacted land-water ecotones», en *Ecotones. The role of Landscape Boundaries in the Management and Restoration of Changing Environments*. Holland, M. M., Riser, P. G. y Naiman, R. J. (eds.), pp. 110-129. Chapman & Hall.
- SHANAN, L. (1987): «The Impact of Irrigation», en *Land Transformation in Agriculture*. M. G. Wolman y F. G. A. Fournier (eds.), pp. 115-132. John Wiley & sons, Chichester.
- SOLBE, J. F. de L. G. (ed.) (1986): *Effects of Land use on Fresh Waters: Agriculture, Forestry, Mineral Exploitation, Urbanisation*. Publ. Water Research Centre, Ellis Horwood Limited, Chichester.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (1985): *Agricultural Statistics*. Government Printing Office, Washington DC.
- U.S. DEPARTMENT OF THE ARMY (1991): *Buffer strips for Riparian Zone Management (A literature Review)*. Department of the Army, Corps of Engineers, for State of Vermont.
-

- 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.
- WARD, J. y STANDFORD, J. (1979): *The Ecology of Regulated Streams*. Plenum Press, New York.
- WORLD RIVERS REVIEW (1993): International Rivers Network, vol. 8(3): pp. 8-11.

RESUMEN

Se comentan los efectos de una utilización intensiva de los ríos por parte del hombre y los motivos para su restauración, atendiendo a los recursos y valores que ofrecen.

La agricultura supone una actividad de gran repercusión económica, a escala mundial, y requiere grandes inversiones para el aprovechamiento de los recursos hídricos, teniendo un gran impacto tanto en la gestión de cuencas vertientes, como en la de los sistemas fluviales propiamente dichos.

Las técnicas de restauración de los ríos afectados por la agricultura deben estar basadas en estrategias de «bio-asimilación», donde se plantea el establecimiento de bandas protectoras de vegetación riparia («buffer strips») a lo largo de su trazado.

Dichas bandas protectoras deben tener una dimensión adecuada, y mantener una vegetación riparia capaz de controlar la llegada de sedimentos y nutrientes a los cauces, ofreciendo, al mismo tiempo, hábitat y refugio para la fauna acuática y silvestre asociada a la presencia del río, y belleza al paisaje fluvial.

El impacto de la agricultura, determinando el dragado y la canalización de muchos cursos fluviales, debe ser corregido restaurando la morfología fluvial, mediante el diseño de secciones transversales estables, la recuperación del trazado del río y la reintroducción de la secuencia de rápidos y remansos.

Finalmente, como estrategia de restauración más general se plantea la de prevenir los efectos desfavorables, mediante una agricultura biológica, fomentada hoy día por la Política Agraria de la Europa Comunitaria.

RESUME

Le présent article commente les effets d'une exploitation intensive par l'homme des cours d'eau et les motifs rendant nécessaire la restauration de ces derniers en raison des valeurs et des ressources qu'ils renferment.

L'agriculture est, à l'échelle mondiale, une activité à fort retentissement économique, qui demande de lourds investissements pour la mise en valeur des ressources hydriques et qui a un impact considérable sur la gestion tant des bassins de déversement que des systèmes fluviaux proprement dits.

Les techniques de restauration des cours d'eau affectés par l'agriculture doivent être fondées sur des stratégies de «bioassimilation» prévoyant la mise en place de bandes protectrices de végétation bordière («buffer strips») tout le long de leur tracé.

Ces bandes protectrices se doivent d'avoir une dimension appropriée, d'entretenir une végétation bordière susceptible de contrôler l'apport de sédiments et de substances nutritives dans les lits des cours d'eau et, en même temps, d'offrir un habitat et un refuge à la faune aquatique et sylvestre associée à la présence du cours d'eau et de contribuer à l'embellissement du paysage fluvial.

L'impact de l'agriculture, qui a déterminé le dragage et la canalisation de nombreux cours d'eau, doit être corrigé par la restauration de la morphologie fluviale, par la mise en place de sections transversales stables, par la récupération du tracé du cours d'eau, par la réintroduction enfin de la séquence des rapides et des eaux dormantes.

Finalement, à titre d'une stratégie de restauration plus générale, il s'impose de prévenir les effets défavorables par la mise en place d'une agriculture biologique, encouragée à l'heure actuelle par la Politique agricole de la Communauté européenne.

SUMMARY

The effects of intensive river use by human beings and the reasons for their restoration are discussed, paying special attention to their resources and worth.

Agriculture is an activity with major economic implications worldwide, requiring large investments to harness water resources, and has a big impact on both the management of catchment basins on the river systems themselves.

Techniques to restore rivers affected by agriculture must be based on bioassimilation strategies, involving the establishment of protective strips of riverside vegetation (buffer strips) along the river course.

These buffer strips must be of the right size and maintain riverside vegetation capable of controlling the sediments and nutrients that reach the rivers, also providing a habitat and refuge to river-related water and wild life and beautifying the river landscape.

The impact of agriculture, leading to many river courses being drained and channeled, must be corrected by restoring river morphology through the design of stable cross sections, recovery of the river course and reintroduction of rapid and still sequences.

Finally, as a more general strategy, we consider the prevention of unfavourable effects through biological agriculture, now promoted by the European Community Agricultural Policy.
