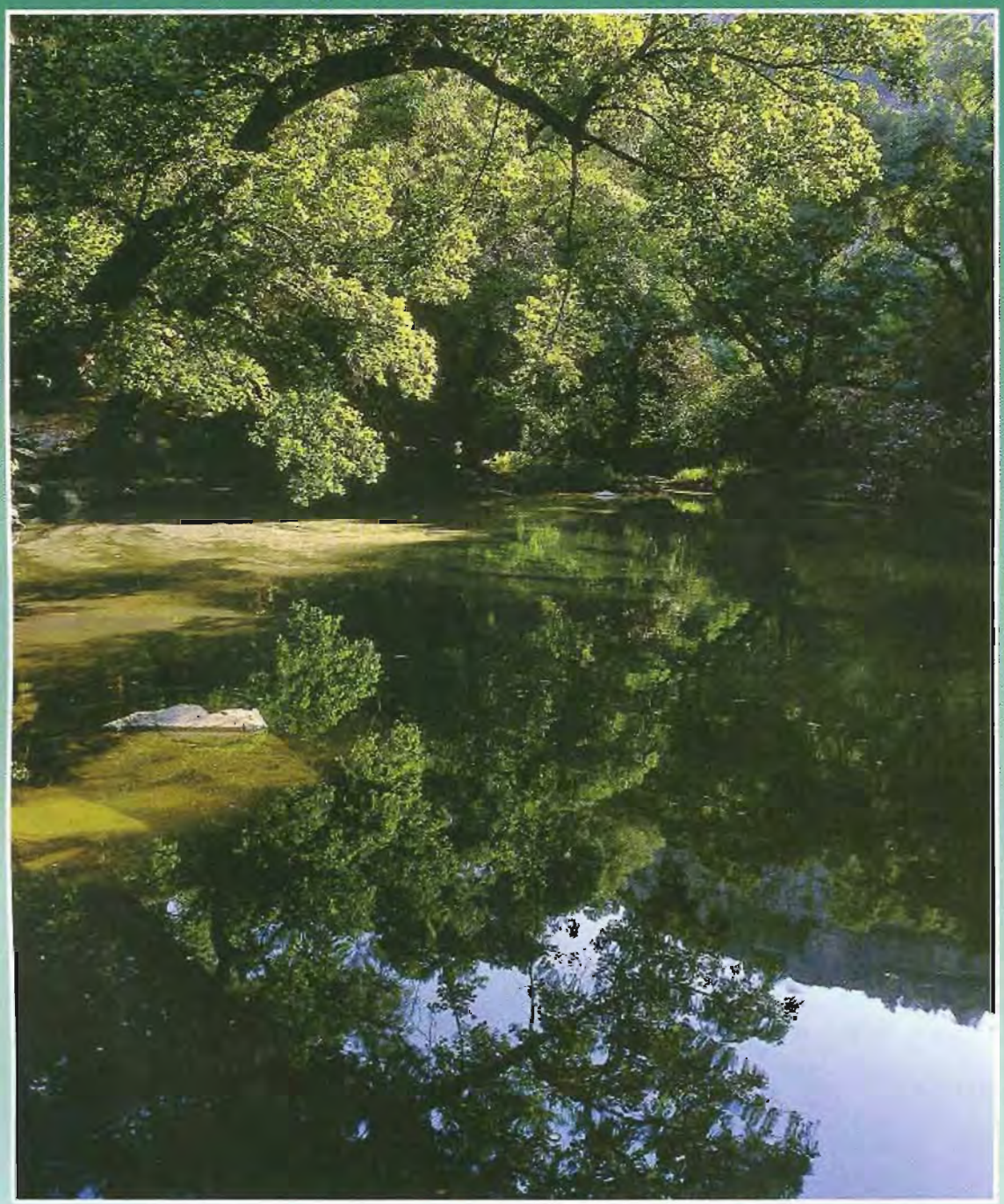
Alba-Tercedor, J. 2009.- Ideas Generales sobre los Ríos. En: Proyecto Andalucía.. Naturaleza. Ecología III, pp.: 14-60 (X. Niels., Coord.). Editorial: Publicaciones Comunitarias, S.A. Sevilla. I.S.B.N.:978-84-936736-2-8.

IDEAS GENERALES SOBRE LOS RÍOS

Javier Alba-Tercedor



RÍO GUARRIZAS. PARQUE NATURAL CASCADA DE LA CIMBARRA (JAÉN)

CAPÍTULO 1

1. IDEAS GENERALES SOBRE LOS RÍOS

Javier Alba-Tercedor

- Introducción 14
- Procedencia del agua del río y sus implicaciones 15
- Características de los sistemas lóticos 18
  - Algunas ideas sobre la composición del agua de los ríos 18
  - Algunas ideas sobre las características físicas de los sistemas lóticos 24
    - Velocidad de la corriente 24
    - Régimen de corriente 24
    - Orden de los ríos 27
    - Temperatura del agua 28
    - La luz 32
- La zonación longitudinal, el continuo fluvial y el continuo discontinuo 36
- Los cursos de agua como fuentes de diversidad 41
- Los cursos de agua de regiones semiáridas: ríos intermitentes y temporales. Los ríos mediterráneos 41
- Algunas falsedades que, a fuerza de repetirlas, son consideradas principios casi dogmáticos 46
- Principales problemas de los ríos andaluces 52
- En qué consiste la directiva marco del agua. Exigencias y perspectivas 53
- Conclusión final 56

Notas al capítulo 1 59

Bibliografía al capítulo 1 59

INTRODUCCIÓN

Los aborígenes australianos tienen una forma muy intuitiva de explicar muchos de los fenómenos y procesos que encuentran en la naturaleza. Para ellos, en su origen toda la vida se desarrollaba en la copa de árboles gigantescos que tenían su base en una superficie terrestre inhóspita y sin vida. Según ellos se produjo un gran cataclismo cósmico que hizo que estos colosos arbóreos perdieran su estabilidad y cayeran estrepitosamente sobre la tierra, dispersando de este modo toda la vida que albergaban.

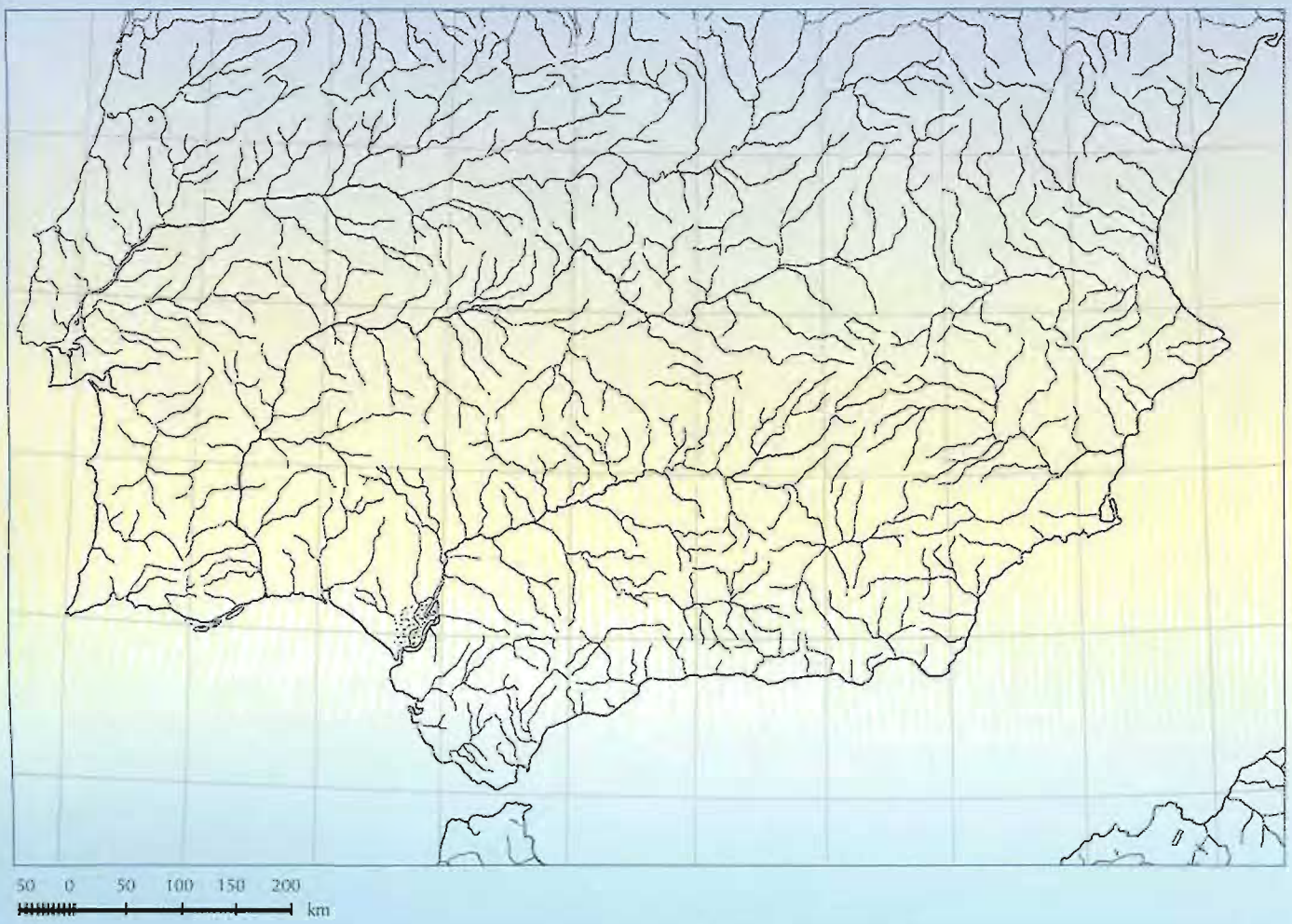
Es curioso que, si miramos las formas que en su conjunto dibujan los cursos de agua de una cuenca hidrográfica, estos se "ramifican" dando figuras geométricas similares a las de las ramas de los árboles (véase la figura 1), independientemente del lugar del mundo en que nos encontremos. Podemos preguntarnos: ¿por qué los cursos de agua de una cuenca van uniéndose unos a otros formando estructuras arborescentes similares? De hecho, el grado de ramificación de los cursos de agua siempre es del orden de 3. El grado de ramificación de los vasos sanguíneos y el de los árboles es del mismo orden. La razón es muy simple: es la forma de unir el mayor número de puntos de una cuenca, con el menor coste en términos de recorrido de cauces.

Volviendo a la intuición de los aborígenes australianos: ahora todos sabemos que el origen de la vida en la tierra nada tiene que ver con la caída de árboles gigantescos. Sin embargo, sorprende que estas gentes se dieran cuenta de la similitud entre los canales de las cuencas fluviales y la ramas de los árboles, y —lo más importante— que lo asimilaran con el origen de la vida, puesto que sin agua no hay vida. Es más, hoy sabemos que los cursos de agua son fiel reflejo de lo que ocurre en sus cuencas (Hynes, 1975), y que es posible medir la salud de estas mediante detenidos estudios de lo que ocurre en sus aguas (véanse, por ejemplo: Hellawell, 1986; Hawkins & Norris, 2000; Ziglio *et al.,* 2006). De tal forma que, al igual que para conocer la salud de las personas se hacen análisis minuciosos de la sangre, para conocer la "salud" de un territorio podemos estudiar sus cursos de agua.

Los ríos representan tan solo la milésima parte de la superficie terrestre, frente al 1'8% de los lagos, y se estima que anualmente aportan al mar unos 37.000 km^3 de agua. Han sido de gran importancia para el desarrollo de diferentes civilizaciones que han asentado sus ciudades en sus márgenes. Actualmente muchas de las ciudades más importantes del mundo, incluidas algunas de las andaluzas, están situadas a las orillas de grandes ríos. De ellos el hombre no solo ha obtenido agua para calmar su sed, la de sus animales y la de sus cultivos, sino que también los ha utilizado como vehículos de evacuación de sus residuos. Convencida del dicho de que "agua corriente no mata a la gente", la sabiduría popular llegó a la conclusión empírica de que las aguas corrientes oxigenan la materia orgánica, que es la causante de la putrefacción, origen de la enfermedad. Sin embargo, a partir de la Revolución Industrial, el descubrimiento y uso intensivo de los pesticidas, y en particular con la explosión demográfica ocurrida en menos de un siglo, los vertidos de los ríos ya no son solo orgánicos, ni en cantidades asimilables por sus sistemas. Es más, las cada vez más pertinaces sequías, intensificadas por el cambio climático que está ocurriendo, hacen que por una combinación de escasez de lluvias y aumento de demanda, cada día contemplemos más cauces secos o, a lo sumo, que lo que hace pocos años eran auténticos ríos no sean ahora más que meras caricaturas de ellos.

En la lengua castellana parece clara la distinción de los diferentes tipos de cursos de agua. Basta consultar en el *Diccionario de la Lengua Española de la Real Academia* términos como: **río** ("corriente de agua continua y más o menos caudalosa que va a desembocar en otra, en un lago o en el mar") o **riachuelo** ("río pequeño y de poco caudal"), que parecen claros. Sin embargo, otros como: **arroyo** ("caudal corto de agua, casi continuo"; también "cauce por donde corre"), **regato** ("arroyo pequeño") o **torrente** ("corriente o avenida impetuosa de aguas que sobreviene en tiempos de muchas lluvias o de rápidos deshielos") no parecen tan claros. De hecho basta con hacer un recorrido por la geografía andaluza y comprobar a cuántas cosas se les llama "río", e incluso se llegan a mezclar conceptos, como ocurre en Sierra Nevada con el llamado "Río Torrente". Todo esto

FIGURA 1. RED HIDROGRÁFICA DEL TERCIO MERIDIONAL DE LA PENÍNSULA IBÉRICA



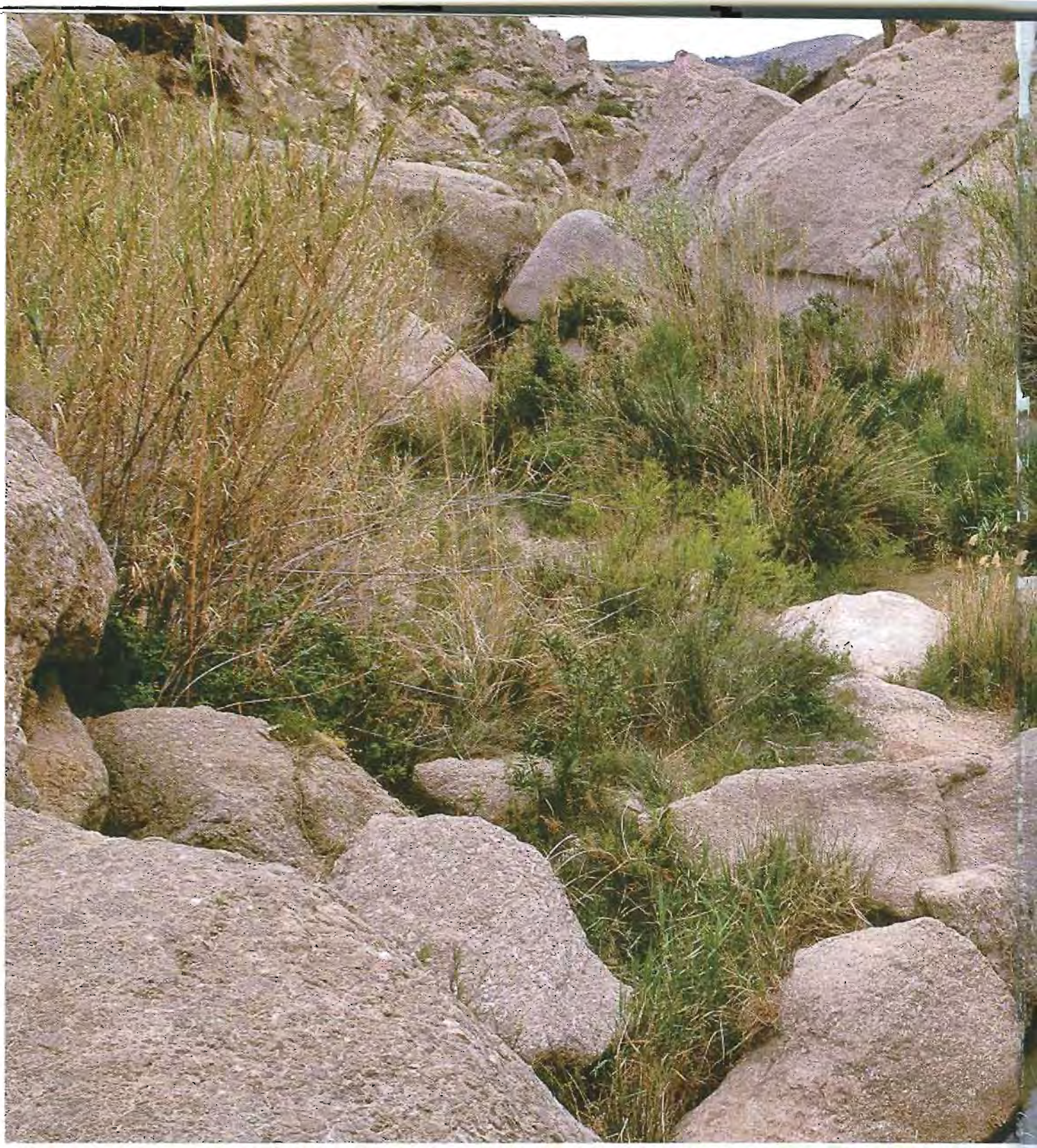
evidencia la falta de un concepto claro sobre lo que es un río, y en general los diferentes tipos de cursos de agua, debida sin duda a que no se ha tomado conciencia de la importancia que estos sistemas tienen y al poco respeto que secularmente han recibido, considerándose tan solo como recursos que hay que utilizar y explotar, lo que explicaría el estado en que se encuentran muchos de ellos.

En las siguientes líneas se quiere dar una visión resumida de lo que son los cursos de agua y de las características que los definen como ecosistemas, y que los alejan del concepto general de "recursos" para explotar al ser considerados únicamente como canales que conducen agua, y por tanto potencialmente peligrosos en caso de avenidas.

PROCEDENCIA DEL AGUA DEL RÍO Y SUS IMPLICACIONES

El agua que corre por los cauces de los ríos procede básicamente de la precipitación (fundamentalmente la lluvia). Sin embargo, y dada la poca superficie del cauce, en comparación con la superficie de la cuenca, tan solo una proporción muy pequeña de la cantidad que le llega procede directamente de ella.

El agua que alcanza la superficie de la tierra la empapa, hasta saturarla, y comienza entonces a discurrir siguiendo la pendiente en lo que se conoce como



escorrentía superficial. El agua atraviesa la superficie, en lo que se conoce como **percolación**, primero de forma superficial y que poco a poco va alcanzando capas más internas (**percolación profunda**). Conforme se avanza en profundidad, los materiales se van haciendo cada vez más compactos, y con un tamaño de poro menor, debido al propio peso de las capas que están sobre ellos, hasta llegar a hacerse impermeables, lo que impide seguir su penetración interna, acumulándose en capas de materiales porosos en forma de agua subterránea, a una profundidad variable conocida como **nivel freático** (que se corresponde con el nivel superior de la zona saturada de agua). Una vez saturadas las capas superficiales del terreno, entonces el agua sobrante comienza también a desplazarse en el sentido de la pendiente, en lo que se conoce como **escorren-**

Río Aguas (Almería)

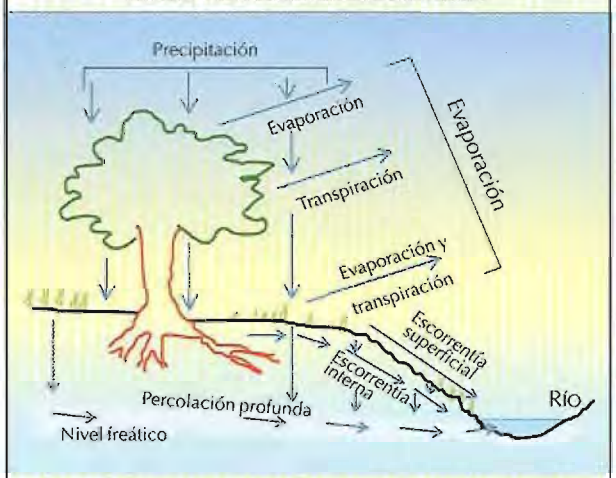
tía interna. Para poder hacer un balance del agua total de una cuenca, hay que tener en cuenta los retornos de agua a la atmósfera que se producen tanto por evaporación directa como por la evapotranspiración producto de la actividad metabólica de las plantas. En resumen, el agua que llevan los cauces fluviales les llega fundamentalmente a través de la escorrentía superficial, especialmente por escorrentía interna, y de forma casi inapreciable por precipitación directa. Asimismo, la erosión de los cauces fluviales en muchos casos llega a cortar materiales saturados de aguas subterráneas, lo que representa otra fuente importante de entrada de agua a los cursos fluviales, y en especial del mantenimiento de sus caudales cuando no llueve. Ello tiene especial interés en regiones, como la andaluza, en que el estío se prolonga por muchos meses.

Tabla 1. Concentración de los principales iones presentes en el agua de lluvia (mg/l)

Ión	Continentes	Mar/zonas costeras
Na^+	0'2-1	1-5
Mg^{2+}	0'05-0'5	0'4-1'5
K^+	0'1-0'5	0'2-0'6
Ca^+	0'2-0'4	0'2-1'5
NH_4^+	0'1-0'5	0'01-0'05
H^+	pH 4-6	pH 5-6
Cl^-	0'2-2	1-10
SO_4^{2-}	1-3	1-3
NO_3^-	0'4-1'3	0'1-0'5

Fuente: según Berner & Berner, 1987

Figura 2. Procedencia del agua del río



Fuente: basado en Hynes, 1970

CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS LÓTICOS

La principal característica de los cursos de agua es que las aguas corren longitudinalmente desde las cabeceras hasta las desembocaduras. La existencia de la corriente y su velocidad es lo que los diferencia de otros sistemas de aguas continentales, como son los humedales, las charcas, lagunas o lagos. De modo que se denomina **sistemas lóticos** (de aguas con corriente) a los primeros, frente a los segundos, denominados **sistemas lénticos**. En los sistemas lóticos, las características —tanto fisicoquímicas como biológicas— cambian a lo largo del gradiente longitudinal que marca el discurrir de sus cauces. Por el contrario, los sistemas lénticos están caracterizados por un gradiente vertical en profundidad. Asimismo, los sistemas lóticos son fundamentalmente heterótrofos (salvo los cursos bajos de grandes ríos), pues en su conjunto procesan más material alóctono del que producen.

ALGUNAS IDEAS SOBRE LA COMPOSICIÓN DEL AGUA DE LOS RÍOS

El agua de lluvia no es pura, ya que al atravesar la atmósfera se disuelven en ella distintos iones (véase la tabla 1) y gases, principalmente nitrógeno, oxígeno y anhídrido carbónico; así, presenta un pH por debajo de 7, y es por tanto ácida. De esta forma, al discurrir (tanto por escorrentía superficial como interna) disuelve los materiales que encuentra a su paso. De tal modo que la composición química de las aguas está íntimamente relacionada con la composición litológica de los materiales de la cuenca por la que discurren. Por eso la composición química de las aguas puede variar enormemente de una región a otra. Sin embargo, no es posible establecer relaciones exactas entre los diversos materiales en disolución y la estructura mineral de las cuencas de drenaje. Esto se debe a las diferentes solubilidades de los minerales, y a que las biocenosis acuáticas ejercen unos efectos selectivos sobre muchas de las sustancias disueltas.

De entre los gases disueltos que contiene, los más importantes son el oxígeno (O_2), nitrógeno (N_2) y anhídrido carbónico (CO_2), que tienden a estar en equilibrio con la atmósfera. Sin embargo, mientras que el nitrógeno se encuentra al cien por cien de saturación, tanto el contenido de oxígeno como el de anhídrido carbónico están fuertemente influenciados por la actividad respiratoria de los organismos acuáticos. Durante el día, la actividad fotosintética de los productores primarios es capaz de retirar CO_2 y producir O_2. Al contrario: durante la noche solo se consume O_2 y se libera CO_2. Además, se producen cambios estacionales. Así, durante el otoño la caída de las hojas incrementa el contenido de materia orgánica, favoreciendo el desarrollo de microorganismos que la degradan, que consumen gran cantidad de oxígeno. Por otro lado, el grado de disolución de los gases en el agua es inversamente proporcional a la temperatura. De modo que en los meses más cálidos, al aumentar la temperatura de las aguas, la concentración

Río Grande. Los Guindos-El Centenillo (Jaén)

de oxígeno disminuye. De ahí que en aguas sometidas a contaminaciones orgánicas, con niveles de oxígeno próximos al límite del mantenimiento de la vida piscícola, sean más frecuentes en verano las mortandades masivas de peces. Asimismo, a lo largo del eje fluvial el contenido de oxígeno cambia, ya que mientras en las zonas de cabeceras la temperatura es menor y el régimen de caudal turbulento, lo que favorece su disolución, en las zonas bajas el régimen es laminar y la temperatura mayor.

A pesar de que el agua de lluvia es ácida, en general esta es neutralizada al percolar a través del suelo e ir cargándose de iones (fundamentalmente calcio y magnesio). En muchos bosques tropicales, con gran pluviosidad, se ha visto que el agua entra en los cursos fluviales sin apenas contacto con el suelo mineral (tan solo con la parte superficial del humus). De modo que sus aguas suelen ser muy ácidas, lo que se incrementa por la pérdida de cationes al contactar con el suelo orgánico.

El contenido en sales varía en función de la litología y de los posibles vertidos. De hecho, en general la conductividad eléctrica del agua se utiliza como una buena medida indirecta del contenido en sales, pudiendo servir para detectar vertidos puntuales. Existe una estrecha relación entre el grado de acidez (pH), el contenido en CO_2, carbonatos y bicarbonatos, conocido como sistema carbónico-carbonatos, que actúa como un rápido regulador del pH. En general, este se basa en lo siguiente: la actividad respiratoria de los organismos produce CO_2, que en contacto con el agua origina ácido carbónico (CO_3H_2), que reacciona con el carbonato cálcico (CO_3Ca), común en muchas rocas, formando bicarbonato cálcico $(CO_3H)_2Ca$, muy soluble en agua que neutraliza el pH.

$$CO_2 + H_2O \leftrightarrows CO_3H_2 \leftrightarrows H^+ CO_3H^-$$

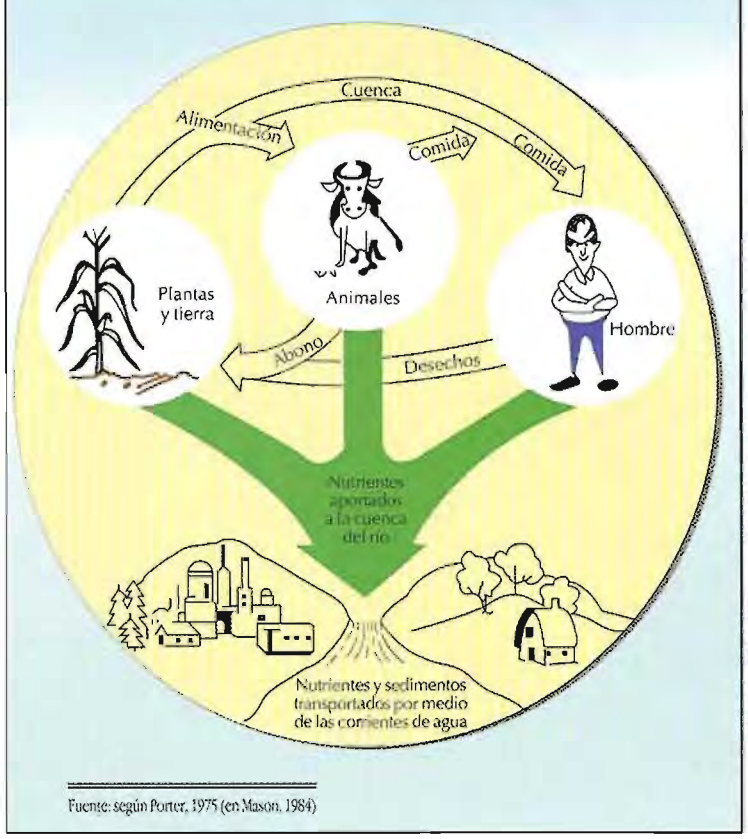
$$CO_3Ca + CO_3H_2 \leftrightarrows (CO_3H)_2Ca \leftrightarrows Ca^{++} + 2CO^-{}_3H$$

Estas reacciones son muy reversibles, de modo que si se retira CO_2 por actividad fotosintética, parte de los bicarbonatos pasan a carbonatos, precipitando calcio (Ca). A esto se deben los depósitos calcáreos que se observan cubriendo las plantas acuáticas, o tras la salida de un manantial, que dan lugar a la formación de las piedras calizas llamadas tobas.

Los productores primarios necesitan para su crecimiento, además de oligoelementos, tres iones: potasio (K^+), nitrato (NO_3^-) y fosfato (PO_4^{3-}). El potasio es un elemento común de muchos minerales, presente en las aguas, incluso en las poco mineralizadas, y junto con los oligoelementos no representa ningún factor limitante en las aguas naturales. Sin embargo, tanto nitratos como fosfatos son en general escasos en las aguas naturales. De tal modo que, cuando existen, permiten el crecimiento de los productores primarios, que los incorporan a sus tejidos, retirándolos del agua. Cuando se produce un aumento desmesurado de estos nutrientes, se dan fenómenos de eutrofización que originan, entre otros efectos, proliferaciones masivas de algas y macrófitos; que si bien producen oxígeno durante el día, por la noche lo consumen, pudiendo darse casos de anoxia de efectos catastróficos para los peces y otros animales acuáticos.

La principal fuente "natural" de nitrógeno y fósforo procede del agua de lluvia y de la superficie de la tierra, entrando en los ríos a través de la escorrentía. Sin embargo, nuestros ríos soportan otras entradas importantes

Figura 3. Entrada de nutrientes a los ríos por las actividades humanas



Fuente: según Porter, 1975 (en Mason, 1984)

Panorámica del río Guadalfeo aguas abajo de Órgiva. Granada (230 m)

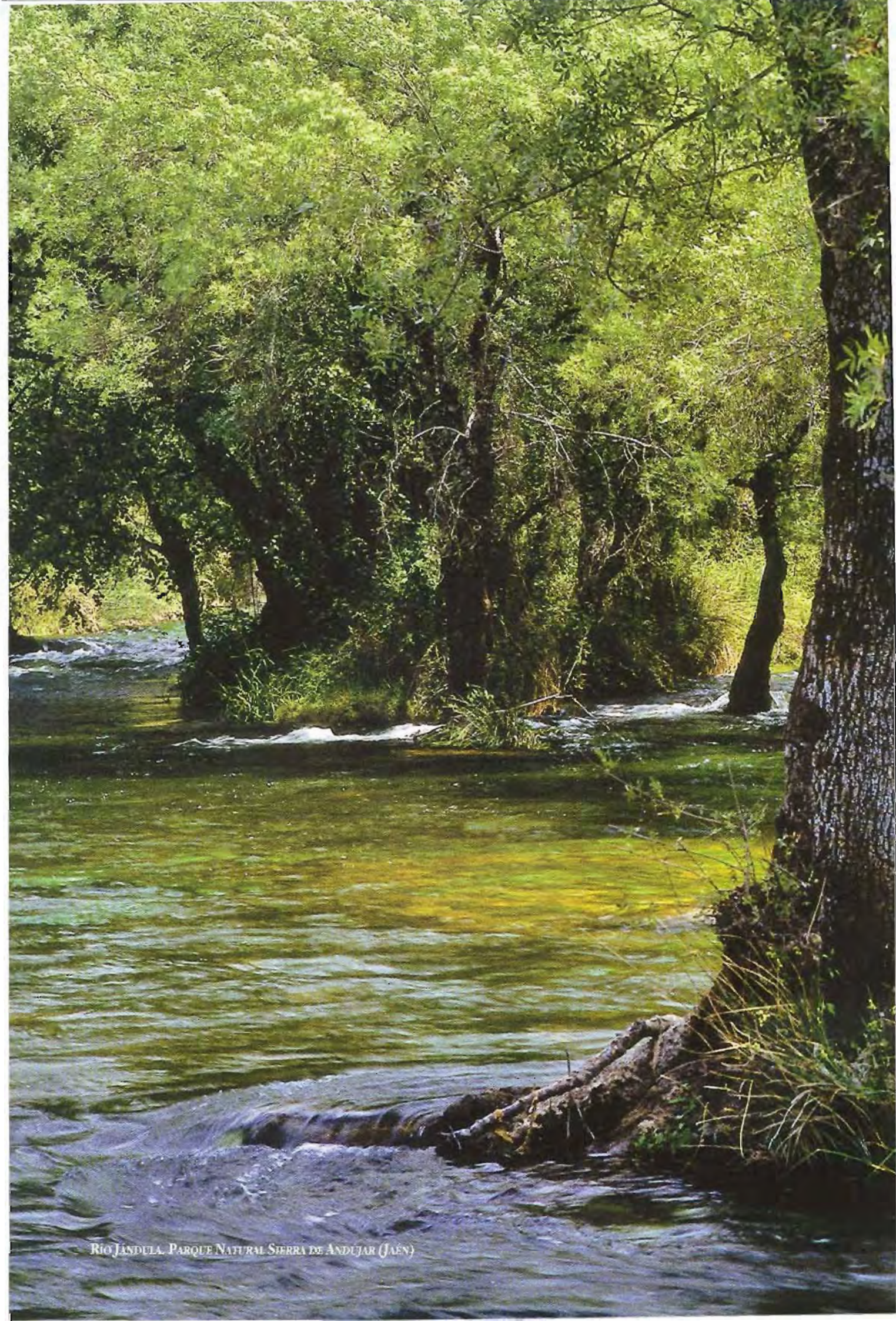
derivadas de las aguas residuales urbanas, no depuradas, o depuradas de forma deficiente, ricas en formas de nitrógeno y de fósforo. Si bien es de reseñar que las nuevas formulaciones de detergentes emplean compuestos no fosforados o en formas químicas diferentes, que no producen ni el efecto visual de acumulaciones de espumas (que no permiten la oxigenación de las aguas), ni la liberación de fosfatos (aunque presentan otros problemas, como los derivados de los tensioactivos que contienen). En cualquier caso, estas contaminaciones pueden ser controladas y depuradas fácilmente, pues se conocen los puntos de vertido. Sin embargo, el uso abusivo de abonos nitrogenados en la agricultura, así como la ganadería intensiva, están generando un problema a gran escala en todas las partes del mundo, incrementando en la superficie terrestre el contenido de diferentes formas del nitrógeno, que llega a los ríos sin puntos de vertido concretos a través de la escorrentía (tanto superficial como interna), lo que se conoce como **contaminación difusa** (véase la figura 3).

En zonas de labor, desprovistas de cobertura vegetal y con fuertes pendientes (como es el caso de muchos olivares andaluces), en épocas de lluvias se incrementa mucho la escorrentía superficial, arrastrando a los cau-

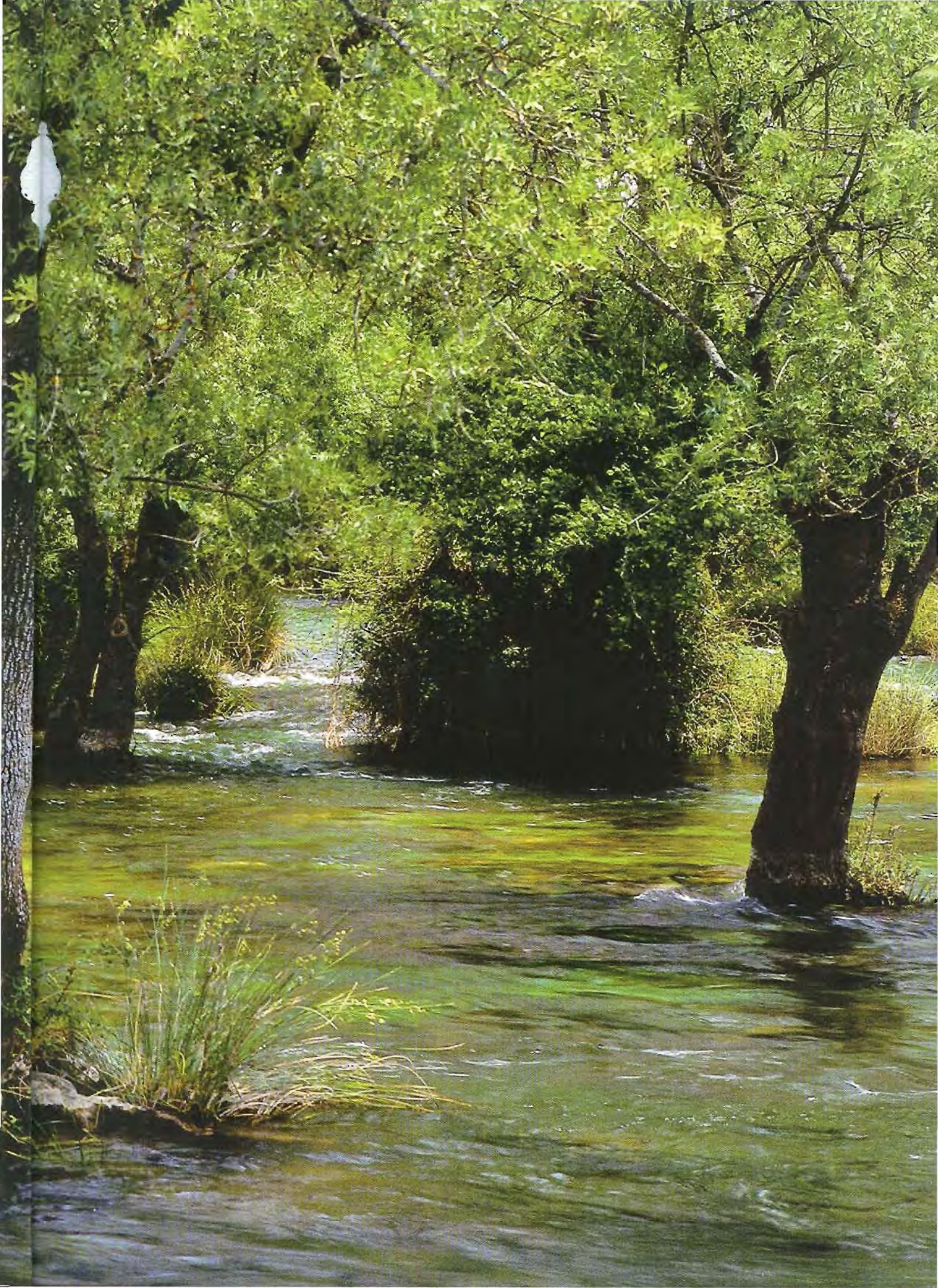
Río Cebollón en Arenas del Rey. Granada (930 m)

ces grandes cantidades de nutrientes (y pesticidas) que provocan contaminaciones estacionales de los cursos de agua.

El problema de la contaminación difusa se incrementa por la degradación o destrucción de la gran mayoría de las zonas de ribera andaluzas. Al no existir una franja de vegetación riparia que pueda absorber el exceso de nutrientes, estos alcanzan sin obstáculo alguno las aguas de nuestros ríos. Es este un problema complejo que hay que atajar, comenzando por una mejor planificación agrícola-ganadera y un uso racional de los abonos.



Río Jándula. Parque Natural Sierra de Andújar (Jaén)



■ ALGUNAS IDEAS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SISTEMAS LÓTICOS

Como hemos visto, lo que distingue a los sistemas lóticos de otros ecosistemas acuáticos continentales es la existencia de corriente. La existencia de corriente, su velocidad y energía son las que conforman los cursos de agua en gradientes longitudinales desde sus cabeceras hasta las desembocaduras; y determinan el perfil longitudinal, la forma y profundidad del cauce, la granulometría de los sustratos, la existencia de pozas y rápidos, de meandros, etc. En definitiva, la velocidad de corriente es determinante en el funcionamiento de los ríos como ecosistemas lóticos.

VELOCIDAD DE LA CORRIENTE

Básicamente, la velocidad de corriente en un punto *(v)* es función de: la pendiente *(s)*, de la profundidad media *(d)* y la resistencia que ofrece el sustrato *(f)*; según la ecuación siguiente (siendo *g* el valor de la aceleración de la gravedad terrestre):

$$v = \sqrt{\frac{8gsd}{f}}$$

FIGURA 4. DISMINUCIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORRIENTE CON LA PROFUNDIDAD

Fuente: basada en Hynes, 1970

Por tanto, la velocidad de corriente será mayor cuando la pendiente sea más pronunciada, la profundidad mayor y la resistencia del sustrato menor. Así, como generalmente la pendiente es más pronunciada en las cabeceras, y va disminuyendo hacia las desembocaduras, en general la velocidad de corriente es mayor en las cabeceras, aumentando su fuerza erosiva, con lo que los lechos son de materiales más gruesos que en las partes bajas. Pero como existen otros factores además de la pendiente que influyen en la velocidad de corriente, no es extraño encontrar mayores velocidades de corriente aguas abajo, ya que, al ir juntándose varios cursos de agua, el caudal se incrementa y aumenta la profundidad.

Pero si miramos con detalle los valores de velocidad de corriente, desde la superficie al fondo, se observa que esta va descendiendo al acercarse al sustrato (tanto del fondo como de las paredes del canal), y aproximadamente al 60% de la profundidad se observa un valor de velocidad medio representativo de los valores existentes en la columna de agua, y muy próximo al contacto con el sustrato (en valores inferiores o del orden de 1 mm) la velocidad de corriente es nula (véase la figura 4). Es en esta zona, denominada **capa límite**, donde muchos macroinvertebrados acuáticos pueden desarrollar su actividad, sin tener que gastar energía para luchar contra la corriente. Pueden hacerlo bien por su pequeño tamaño o por haberse seleccionado estrategias evolutivas de aplastamiento del cuerpo, como ocurre por ejemplo con los efemerópteros de la familia Heptageniidae (véase la figura 5).

RÉGIMEN DE CORRIENTE

El régimen de corriente es de tipo turbulento y el agua fluye por los canales a modo de olas, de tal modo que, de forma natural, aparece en los cursos de agua una alternancia de rápidos (zonas de poca profundidad, en las que el agua circula a mayor velocidad y con sustratos gruesos) y pozas (zonas de mayor profundidad, poca velocidad de corriente y sustratos finos), como muestran las figuras 6 y 7. En los rápidos se produce un continuo burbujeo que oxigena el agua, siendo zonas muy productivas, en las que habita una gran cantidad y diversidad de

Río Hozgarganta. Parque Natural de los Alcornocales

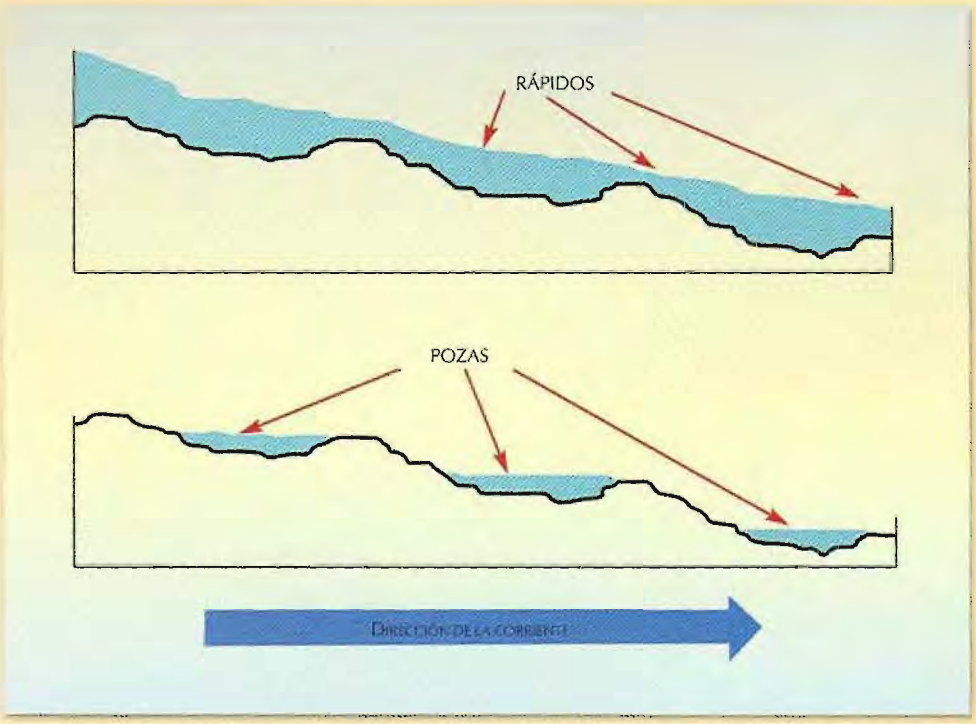
Figura 5. Ninfas de efemerópteros (vista dorsal y esquema de vista lateral) que presentan un aplastamiento dorsoventral que les permite no ser arrastradas por la corriente

A. *Rhithrogena* — B. *Epeorus*

Fuente: basada en Hynes, 1970

Figura 6. Secuencia de rápidos y pozas que se forman en los cursos de agua

Los rápidos se espacian, de forma natural, una distancia de 5 a 7 veces la anchura del cauce. Abajo se representa el caso de disminución de caudal, resaltándose el papel de hábitat refugio que desempeñan las pozas, pues en ellas queda agua almacenada que permite mantenerse a muchas especies durante el estiaje. Los encauzamientos, y otras actuaciones sobre el cauce que eliminan las pozas tienen unos efectos muy negativos en períodos de estiaje o de bajo caudal, pues no quedan zonas inundadas, o con profundidad suficiente para mantener a muchas especies. Los peces son los que resultan afectados de forma más inmediata



Fuente: elaboración propia

macroinvertebrados acuáticos. Las pozas corresponden a zonas más profundas que sirven de refugio a muchas especies de peces. Existe una alternancia de rápidos y pozas que sigue una regularidad, según una distancia que es de cinco a siete veces la anchura del curso de agua.

Para los peces es fundamental la existencia de pozas, y durante las migraciones aguas arriba descansan en ellas mientras toman fuerzas para lanzarse al "molinete hidráulico" que se produce al llegar el agua a gran velocidad del rápido que la precede, y así aprovechar su fuerza de impulsión para la ascensión (fenómeno especialmente importante para saltar pequeñas cascadas).

Cuando disminuye el caudal, y los ríos dejan de fluir, las pozas desempeñan un papel de hábitat refugio, pues en ellas queda agua almacenada que permite mantenerse a muchas especies durante el estiaje. Los encauzamientos, y otras actuaciones sobre el cauce que eliminan las pozas, tienen unos efectos muy negativos en períodos de estiaje o de bajo caudal, pues no quedan zonas inundadas, o con profundidad suficiente para mantener a muchas especies. Son los peces los que resultan afectados de forma más inmediata.

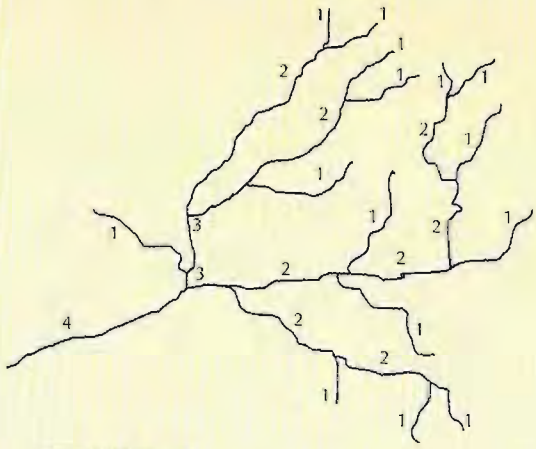
ORDEN DE LOS RÍOS

Los cursos de agua se clasifican en función de los afluentes que presentan, según un sistema de clasificación que establece el orden de los ríos. Este consiste en una clasificación hierática, que fue realizada por Horton y posteriormente modificada por Strahler. Según esta, aquellos cursos de agua que aún no presentan ningún afluente son de orden 1. Cuando se unen dos cursos de agua de orden 1 el resultante es de orden 2. Así, existe una regla según la cual si se unen dos de orden *n* originan otro de orden *n+1*. Pero siempre es imprescindible que se unan dos del mismo orden para aumentar el orden del resultante. De tal modo que si se une uno de orden *n* con otro de orden *n-1*, el resultante será de orden *n* (véase la figura 8). En principio, los tramos de orden 1 corresponden a cabeceras, con pequeños cursos de agua que aún no han recibido afluentes. Por tanto, y dependiendo del régimen de lluvias, o de si el año ha sido más o menos lluvioso, en la práctica la localización de estos tramos de orden 1 puede variar altitudinalmente. Es por ello por lo que, a efectos prácticos, se trabaja con mapas de redes hidrográficas, indicando la escala en la que se ha basado la clasificación hecha para los ríos de una cuenca. Lógicamente, al disminuir la escala, los mapas reflejan un mayor número de pequeños cursos de agua de las cabeceras, con lo que el orden resultante de los ríos de las partes aumenta. Muchos autores recomiendan utilizar mapas de escala 1:25.000, si bien es frecuente la utilización de escalas mayores, del orden de 1:100.000 o 1:250.000.

FIGURA 7. SUCESIÓN DE RÁPIDOS Y POZAS EN UN ARROYO DE MONTAÑA (CABECERA DEL RÍO GENIL EN EL BARRANCO DE SAN JUAN. SIERRA NEVADA, GRANADA)

FIGURA 8. ESQUEMA DE UNA CUENCA EN LA QUE SE INDICA EL ORDEN DE SUS RÍOS

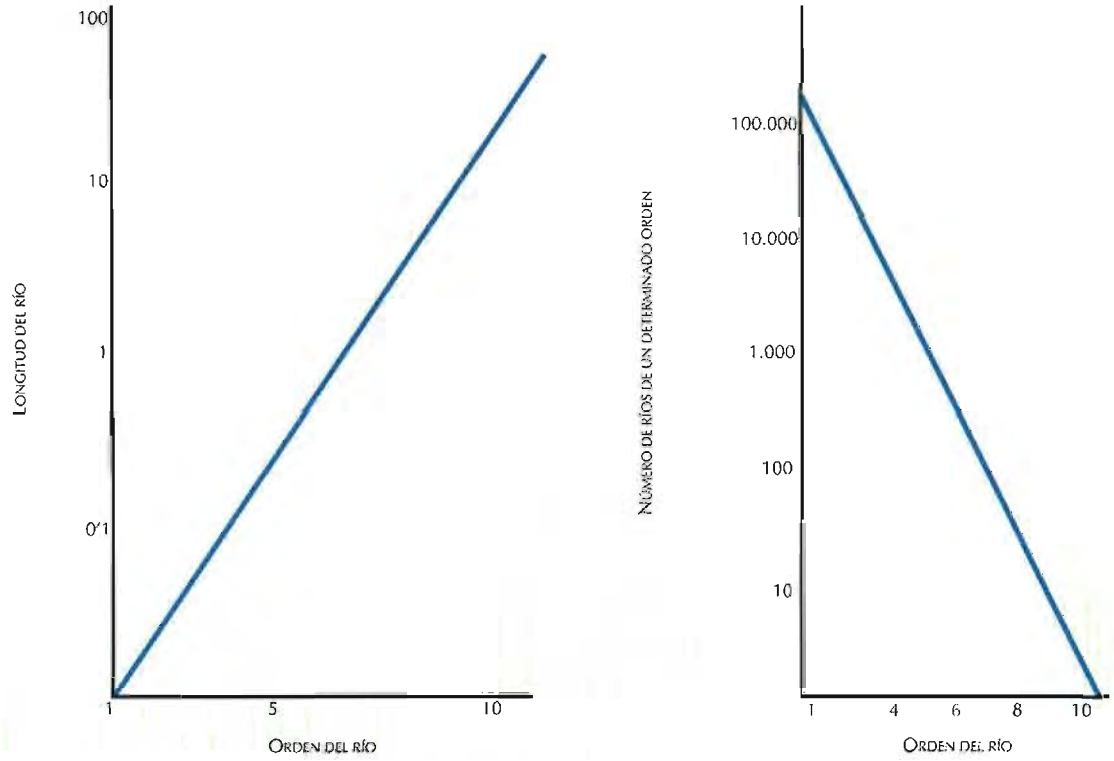
Según el criterio de Horton, modificado por Strahler, en las cabeceras, los pequeños cursos de agua que no tienen afluentes son de orden 1; al unirse dos de orden 1, originan otro de orden 2. (Con la regla de que, cuando se unen dos de orden *n*, originan otro de orden superior *n+1*, pero si se junta uno de orden *n* con otro de orden *n-1*, el resultante continúa siendo de orden *n*)



Fuente: Javier Alba-Tercedor

Figura 9. Existe una clara relación entre el orden de los ríos y su longitud

Los ríos de mayor orden están más distantes de las cabeceras y, por tanto, presentan una mayor longitud (izquierda). Del mismo modo, en una determinada cuenca, el número de cursos de agua de orden menor se incrementa conforme aumenta el número de tramos de mayor orden (derecha)



Fuente: basado en Allan, 1995

Existe una clara relación entre el orden de los ríos y su longitud. Los ríos de mayor orden están más distantes de las cabeceras, presentan una mayor distancia respecto al origen, y por tanto mayor longitud (hay una ecuación que relaciona la longitud, *L*, con el área de drenaje, *A*: $L = 1'4\ A^{1'6}$). Del mismo modo, en una determinada cuenca el número de cursos de agua de orden menor se incrementa conforme se aumenta el número de tramos de mayor orden (véase la figura 9).

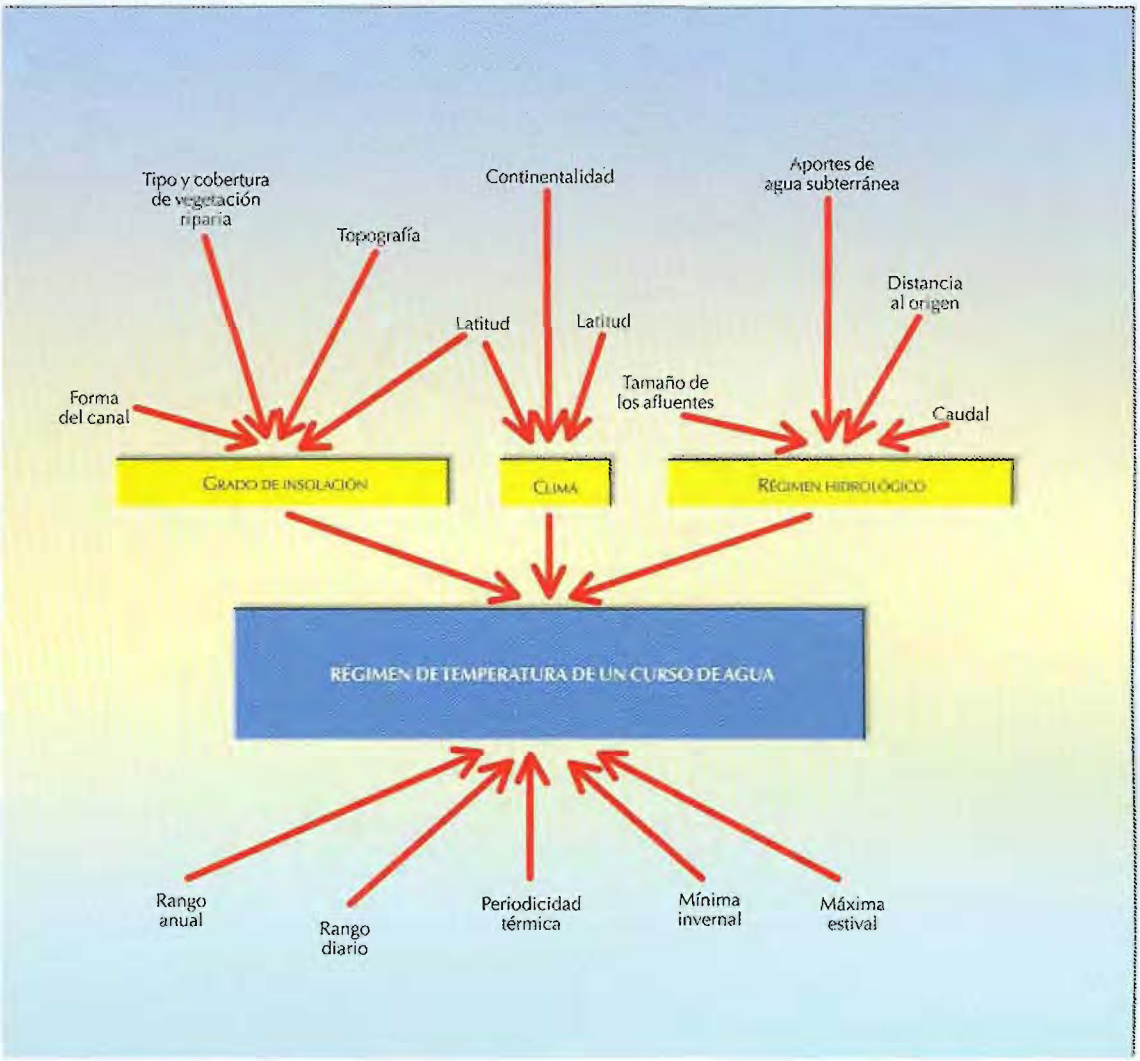
TEMPERATURA DEL AGUA

La temperatura del agua es otro factor clave en los diferentes procesos biológicos que mantienen la vida en los ríos. En primer lugar, porque, como hemos comentado, la cantidad de oxígeno capaz de disolverse en el agua es inversamente proporcional a la temperatura. En segundo lugar, porque la mayoría de los organismos que viven en los ríos no controlan la temperatura, y necesitan unos umbrales óptimos tanto para su desarrollo embrionario como para las diferentes fases de su vida. Las especies estenotérmicas (adaptadas a vivir en un estrecho rango de temperaturas) de aguas frías en general necesitan aguas muy oxigenadas, frente a otras que se desarrollan en los meses más cálidos, o bien que presentan un comportamiento euritérmico.

El régimen de temperaturas de los cursos de agua depende de múltiples factores (véase la figura 10). En general, se pueden agrupar en tres grandes bloques: grado de insolación, clima y régimen hidrológico. En cualquier caso, la temperatura cambia tanto a lo largo del año como diariamente, pudiéndose observar en verano en los ríos mediterráneos grandes variaciones (véase la figura 11), que en algunos casos pueden superar los 10 °C. La cobertura vegetal es de importancia vital en estos sistemas, para evitar sobrecalentamientos excesivos del agua en los meses más cálidos, en los que además el caudal disminuye.

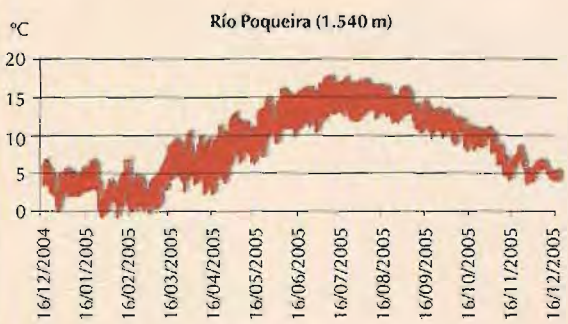
Río Genal en las proximidades de Gaucín (Málaga)

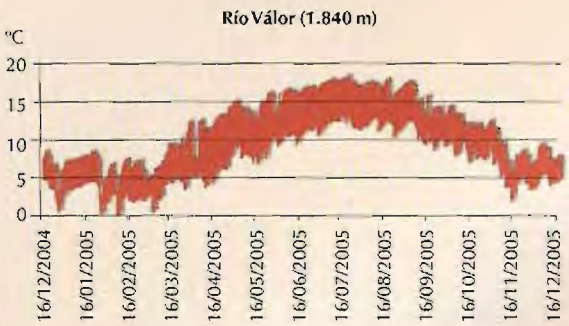
Figura 10. El régimen de temperaturas de los ríos es de vital importancia, y depende de múltiples factores que quedan resumidos en este esquema



Fuente: basado en Ward, 1985, en Giller & Malmqvist, 1998

Figura 11. Media de temperaturas (°C) registradas diariamente en dos cursos de agua de las cabeceras de Sierra Nevada a lo largo de un ciclo anual





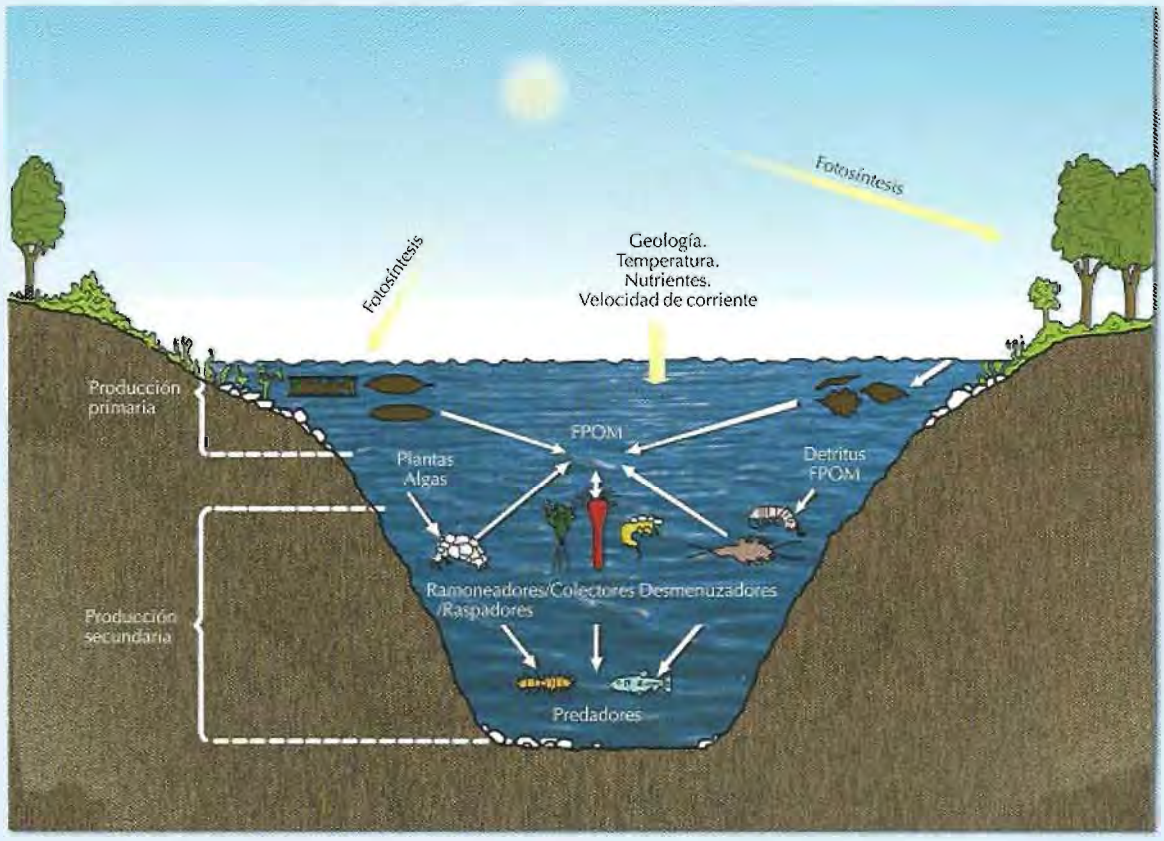
Fuente: elaboración propia

Río Bembézar (Hornachuelos, Córdoba)

Con el fenómeno del calentamiento global que estamos sufriendo, observamos que muchas especies han adelantado sus ciclos de vida, y que en los ríos de montaña la cota de distribución altitudinal está subiendo. Claramente, muchas especies estenotérmicas desaparecerán de su área actual de distribución, o quedarán relegadas a refugios de mayor altitud, mientras se favorece a las especies de aguas más cálidas, lo que supone una invasión de nuevas especies. Un ejemplo de especie introducida es el "cangrejo rojo de las marismas" *(Procambarus clarkii)*, que ha ido prosperando en altitud, y con posibilidad de alcanzar a las poblaciones relictas del considerado "cangrejo autóctono" *(Austropotamobius pallipes)*, a las que podrá contagiar de afanomicosis y exterminarlas. Hasta ahora el cangrejo autóctono se mantiene de forma escasa fundamentalmente en cabeceras de los ríos donde la temperatura media invernal está por debajo de 10 °C. A esta temperatura el cangrejo rojo no puede llevar a cabo el desarrollo embrionario, y por tanto no puede colonizar estos medios (Gil-Sánchez & Alba-Tercedor, 1988 y 2002).

FIGURA 12. SECCIÓN TRANSVERSAL DE UN CURSO DE AGUA

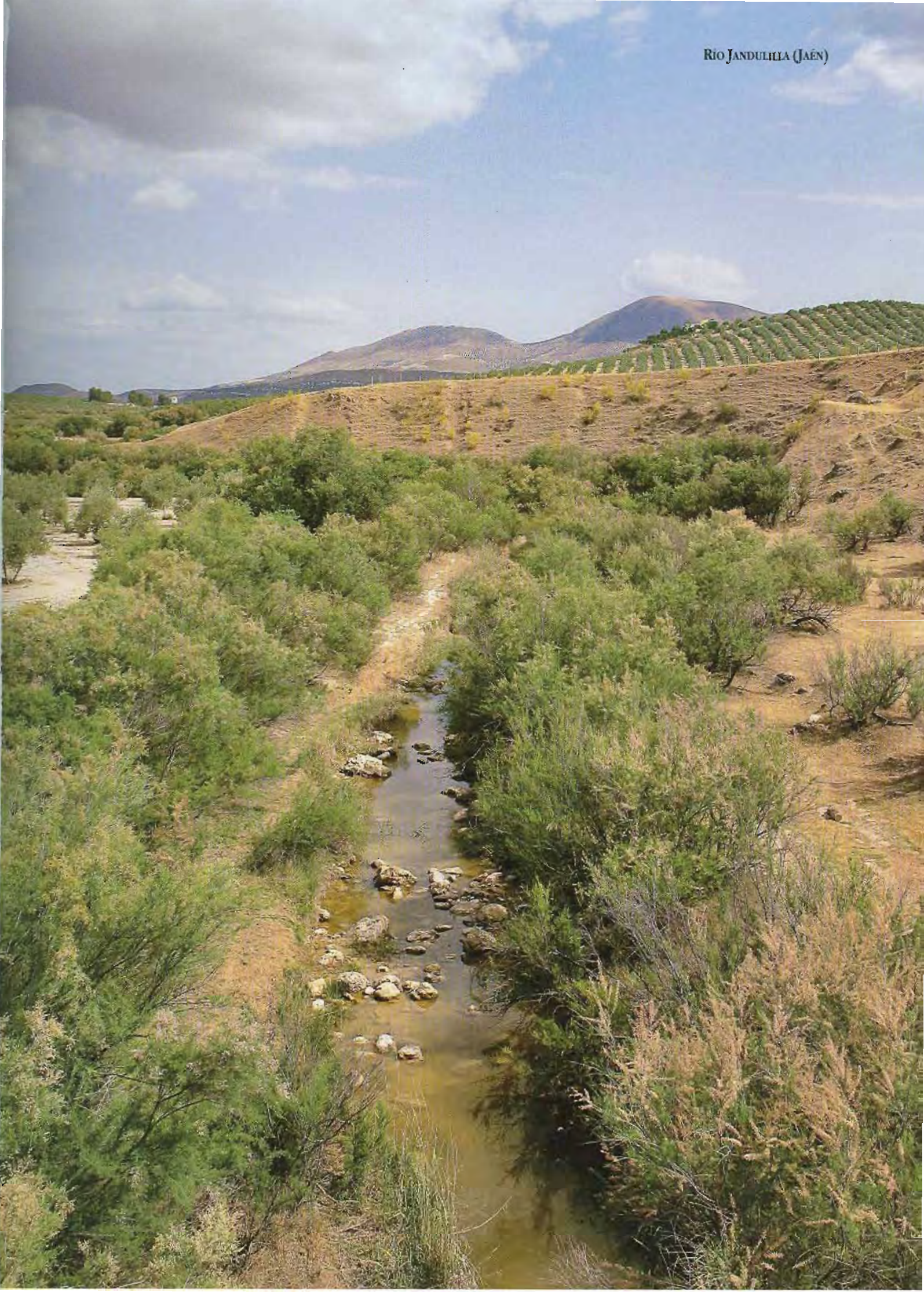
El dibujo inferior muestra las interrelaciones entre fuentes de energía, los productores y diferentes grupos funcionales de alimentación. La energía solar es captada por los productores primarios que corresponden a organismos fotosintéticos (terrestres y acuáticos), que producen materia orgánica (MO). Esta es ingerida por los consumidores, que la procesan e incorporan a sus tejidos, llevándose a cabo una producción secundaria. En los medios acuáticos existen diferentes grupos funcionales de macroinvertebrados:
— Los **ramoneadores** y **raspadores**, que se alimentan fundamentalmente de algas y otros vegetales (al modo que lo harían los herbívoros en una escala mayor en el medio terrestre).
— Los **colectores**, que recogen, y en su mayoría filtran, el agua para retener la materia orgánica particulada fina (FPOM < 1 mm) que transporta la corriente.
— Los **desmenuzadores**, que se alimentan masticando trozos de materia orgánica particulada gruesa (COPM > 1 mm y cuya actividad produce más FOPM, favoreciendo a los colectores; por último, están los predadores, que se alimentan de ellos



Fuente: redibujado de Cushing & Allan, 2001

LA LUZ

Respecto a la luz, hemos de tener en cuenta que la radiación solar es de vital importancia no solo para mantener el régimen de temperatura de los cursos de agua, sino también porque de forma simultánea es la principal fuente de energía de los ecosistemas. Es utilizada por los productores primarios (algas, musgos, macrófitos...), que son los encargados de producir materia orgánica (de la que se alimentan los consumidores, en su mayoría animales). Además, la luz desempeña otro papel muy importante en el comportamiento de muchas especies animales, que cambian el grado de actividad según el grado de luz ambiental. Así por ejemplo, muchas especies de macroinvertebrados acuáticos se dejan arrastrar por la corriente, en un fenómeno conocido como **deriva**, que tiene una gran importancia en la dinámica de las poblaciones y en la recolonización de los cursos fluviales. Ocurre esta fundamentalmente durante las horas crepusculares y nocturnas, en un intento de evitar la depredación que sufren fundamentalmente los peces. De tal modo que estos últimos aumentan su actividad para alimentarse, coincidiendo con estas horas. Comportamiento bien conocido y aprovechado por los aficionados a la pesca en los ríos.



Río Jandulilla (Jaén)

Ribera del río Huéznar, Parque Natural Sierra Norte de Sevilla

LA ZONACIÓN LONGITUDINAL, EL CONTINUO FLUVIAL Y EL CONTINUO DISCONTINUO

Muchos estudios han evidenciado que, desde las cabeceras hasta las desembocaduras de los ríos, cambian las especies acuáticas que habitan en los ríos, así como la composición de las comunidades. De hecho, a mediados del siglo XX (en 1945) Huet hablaba de cuatro zonas de los ríos que se suceden de aguas arriba hacia las partes bajas, que se denominaban, en función de las especies de peces más características: "de la trucha", "del tímalo", "del barbo" y "de la brema". Esta clasificación de tramos o zonas de los ríos tuvo el mérito de reconocer que existían diferencias bióticas que cambiaban a lo largo del eje de los ríos. Sin embargo, la clasificación encontró problemas de aplicación, ya que no todas esas especies existen en todos los ríos. En cualquier caso, Illies, en 1953, observó que las ideas de Huet tenían una base ecológica importante, puesto que no solo en peces, sino también en macroinvertebrados, se observaba un gran cambio faunístico correspondiendo con la zona final del tímalo. Con ello comenzó la Teoría de la Zonación, que considera el río como una secuencia de unidades discretas, más o menos definidas, en las que las modificaciones registradas, a lo largo de su curso, no son tan graduales como las variaciones de los factores abióticos, sino que se producen de manera brusca (Botosaneanu, 1979). En la primera clasificación, Illies definió el concepto de ***Rhithron*** como: la zona del río que va desde el nacimiento hasta el punto donde la temperatura media mensual no excede de 20 °C, con aguas muy bien oxigenadas, de régimen turbulento, velocidad de corriente elevada y caudal pequeño; el sustrato está formado por grandes rocas, piedras, gravas y arena fina, y lodo tan solo en los remansos y zonas protegidas. Por otro lado, la zona de ***Potamon*** se extiende a partir de la zona con: temperaturas mensuales medias superiores a 20 °C, velocidad de corriente lenta y régimen tendente a ser laminar; predominan los sustratos finos (gravas, arenas y lodos) y, además,

FIGURA 13. LAS HOJAS QUE CAEN A LOS RÍOS SON UNA ENTRADA IMPORTANTE DE MATERIA ORGÁNICA PARTICULADA GRUESA (COPM)

Las hojas caídas son atacadas por microorganismos (hongos y bacterias) que forman una capa de biofilm que las hace palatables a los macroinvertebrados desfragmentadores: estos, con sus piezas bucales, las van masticando y fragmentando en piezas más pequeñas (FOPM = materia orgánica particulada fina), que son utilizadas por los colectores

la profundidad se incrementa, así como la turbidez de las aguas, con posibles darse momentos de carencia de oxígeno. En la zona de *Rhithron* predomina una fauna estenotérmica fría con organismos adaptados a soportar la corriente y que necesitan altas concentraciones de oxígeno para vivir. Como ejemplo típico de esta zona están los salmónidos entre los peces, y dentro de los macroinvertebrados las comunidades predominantes son de tipo EPT (es decir, formadas por insectos de los órdenes efemerópteros, plecópteros y tricópteros). Por el contrario, en el *Potamon* la fauna predominante es de tipo estenotérmica cálida o euritérmica. Como ejemplo típico de esta zona están los ciprínidos entre los peces, y dentro de los macroinvertebrados las comunidades presentan gran abundancia de coleópteros, hemípteros, odonatos y dípteros (dependiendo de cuales de estos grupos son los más representativos, se habla de comunidades de tipo COH, COD, etc.), así como de oligoquetos.

Posteriormente, Illies & Botosaneanu (1963) dividieron estas grandes zonas. Así, desde las cabeceras hasta las partes bajas se reconocen las siguientes zonas: *Crenon* (que corresponde a la zona de las fuentes, y que a su vez

Río Guadalquivir (Almodóvar del Río, Córdoba)

se subdivide en *Eucrenon* e *Hypocrenon*), *Rhithron* (que a su vez se subdivide en *Epi-*, *Meta-* e *Hyporhithron)* y *Potamon* (que a su vez se subdivide en *Epi-*, *Meta-* e *Hypopotamon*). Pero muchas fueron las críticas que esta zonación de los cursos de agua suscitó ya desde sus comienzos[1]. Es por ello por lo que, según Hynes (1970), la idea de la zonación es útil a nivel de una descripción general, pero pretender una definición de zonas exactas tiene un valor ecológico dudoso.

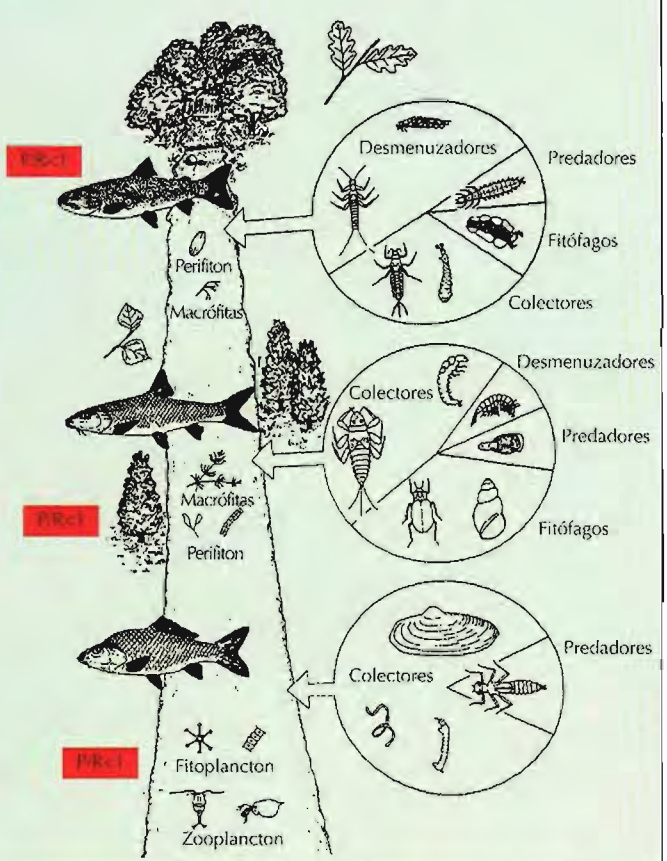
Al comienzo de los años ochenta, Vannotte *et al.* (1980) postularon el **concepto del continuo fluvial (CCF)**, basado en la observación de un gradiente continuo en las condiciones físicas que se establecen desde la cabecera hasta la desembocadura. Postula que las comunidades de organismos forman un continuo temporal de reemplazo sincrónico de especies que lleva a un equilibrio entre la utilización de los aportes energéticos y la transformación de la energía. En la región media de este continuo se encuentra la mayor heterogeneidad ambiental, y en ella se halla la mayor diversidad. El CCF postula básicamente que ocurren los cambios longitudinales respecto a: cambios de temperatura, proporción relativa de los diferentes grupos funcionales de alimentación, diversidad de especies, disponibilidad de materia orgánica particulada, tanto fina (Fine Organic Particulate Matter, FOPM < 1 mm), como gruesa (Coarse Organic Particulate Matter, COPM > 1 mm) y relación entre producción y respiración.

Curso seco del río Guadalhorce, con la Peña de los Enamorados al fondo. Antequera, Málaga

En las cabeceras, los ríos de órdenes bajos son estrechos y presentan una cobertura forestal importante que impide que llegue la radiación solar al cauce, por lo que los productores primarios apenas pueden desarrollarse; la gran mayoría de la energía que se consume es de origen alóctono y procede de la entrada de materia orgánica de origen terrestre, fundamentalmente hojas de la vegetación riparia (COPM); en definitiva, se respira más de lo que se produce, por lo que el cociente producción/respiración es negativo (P/R<1). En estas zonas los desmenuzadores son el grupo funcional que predomina, favoreciendo con su actividad la fragmentación de las hojas en trocitos mas pequeños de FOPM (véase la figura 13). Al ir descendiendo, e ir aumentando el orden de los ríos, estos incrementan su anchura y la densidad forestal de la vegetación riparia es menor, dejando grandes claros que permiten una gran insolación del cauce; esto favorece un buen desarrollo de productores primarios, de tal modo que se produce más de lo que se consume, siendo el cociente P/R>1. En estas zonas los colectores, ramoneadores y raspadores son los grupos funcionales que predominan. En las partes bajas de las cuencas, los ríos de orden mayor son de mayor profundidad, de aguas turbias que impiden el paso de la luz, por lo que de nuevo se produce el cociente P/R<1, existiendo una total hegemonía de los colectores (véase la figura 14).

Figura 14. Concepto de continuo fluvial *(River continuum concept)*

En las cabeceras, los ríos de órdenes bajos son estrechos y presentan una cobertura forestal importante que impide que llegue la radiación solar al cauce, por lo que los productores primarios apenas pueden desarrollarse; la gran mayoría de la energía que se consume es de origen alóctono y procede de la entrada de materia orgánica de origen terrestre, fundamentalmente las hojas de la vegetación riparia (materia orgánica particulada gruesa: COPM > 1 mm); en definitiva, se respira más de lo que se produce, por lo que el cociente producción/respiración es negativo (P/R<1). En estas zonas predominan los desmenuzadores. Al ir descendiendo, e ir aumentando el orden de los ríos, estos incrementan su anchura y la densidad forestal de la vegetación riparia es menor, dejando grandes claros que permiten una gran insolación del cauce; esto favorece un buen desarrollo de productores primarios, de tal modo que se produce más de lo que se consume, siendo el cociente P/R>1. En estas zonas los colectores, seguidos de ramoneadores y raspadores son los grupos funcionales que predominan. En las partes bajas de las cuencas, los ríos de orden mayor son de mayor profundidad, de aguas turbias que impiden el paso de la luz, por lo que de nuevo se produce el cociente P/R<1, y una total predominancia de los colectores



Fuente: González del Tánago & García de Jalón, 1995, para un río ibérico, y basado en Vannote *et al.*, 1980

Este marco conceptual teórico no siempre es fácil de encontrar, y esto se debe a causas naturales, pero muy especialmente a causas antrópicas. Entre las causas naturales, basta con la entrada de un afluente de orden bajo a un río de orden mediano para que aguas abajo del punto de desembocadura las características fisicoquímicas, y las comunidades de organismos y sus grupos funcionales, sean más propias del afluente de orden bajo que del río de orden mediano. Este es un típico ejemplo de lo que Cushing & Allan (2001) llaman **mecanismos de puesta a cero** *(reset mechanisms)*. Por ejemplo, si en las cabeceras se elimina la cobertura forestal que da sombra al cauce, podemos encontrar situaciones más propias de cursos de mayor orden; ya que la luz solar incide en el cauce, de modo que pueden desarrollarse gran número de productores primarios que permiten el incremento de los ramoneadores y raspadores.

En definitiva, la actividad humana (talas, construcción de embalses, entradas de materia orgánica por vertidos, etc.) produce también puestas a cero o "reseteos" del sistema que hacen que lo que encontremos en la mayoría de nuestros ríos no sea el continuo postulado por Vannotte *et al.* (1980), sino más bien un continuo--discontinuo.

LOS CURSOS DE AGUA COMO FUENTES DE DIVERSIDAD

En los cursos de agua se encuentra tal diversidad de grupos, tanto animales como vegetales y microorganismos, que podemos decir que en ellos hay representantes de la gran mayoría de los taxones supraespecíficos que aparecen en la tierra. De los animales, son sin duda los artrópodos, y dentro de ellos los insectos, los que han mostrado un éxito mayor.

Dentro de los ecosistemas acuáticos continentales, las redes hidrográficas, y los ríos que las conforman, representan uno de los ecosistemas más estables respecto a su permanencia a lo largo del tiempo geológico. Por el contrario, los sistemas lacustres tienen una vida media relativamente corta, al ir llenándose de sedimentos que terminan colmatándolos, lo que elimina la vida que albergaban. Esto supone una menor oportunidad para una diversificación evolutiva de los organismos que los habitan y la consiguiente aparición de nuevas especies. De hecho, dejando a un lado lagos muy antiguos y profundos, como por ejemplo el Baikal en Siberia o el Malawi en África, en los que habita una gran diversidad de especies, el resto de estos sistemas albergan menos biodiversidad que los ríos.

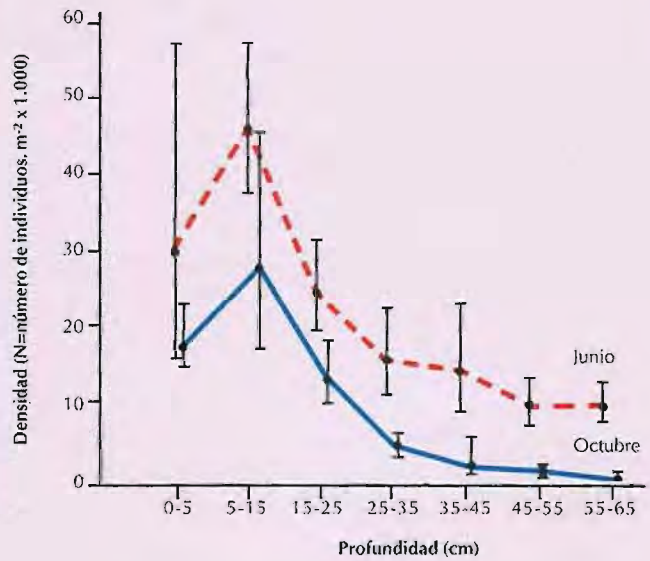
En el caso de los ríos andaluces, nos encontramos con otro fenómeno añadido. Forman parte de la Península Ibérica, que a nivel faunístico es la de mayor riqueza de Europa en invertebrados acuáticos de ríos, junto con Italia. A ello contribuye la historia geológica, pues las penínsulas meridionales sirvieron de refugio durante las glaciaciones a muchas especies; al retirarse los hielos, muchas quedaron aisladas en los cursos de agua de montaña, y su aislamiento sirvió de motor de especiación. En Andalucía, la diversidad de ambientes (altas montañas, desiertos, zonas de clima subtropical, áreas de gran influencia atlántica con fuerte pluviometría, etc.) y su cercanía al continente africano han permitido un continuo intercambio de especies. Todo ello ha hecho del sur peninsular un crisol de intercambio y experimentación natural que explica la riqueza de especies (véase el magnífico capítulo del profesor Tinaut en esta misma obra, en el volumen VII de Zoología —Tinaut Ranera, 2006—).

LOS CURSOS DE AGUA DE REGIONES SEMIÁRIDAS: RÍOS INTERMITENTES Y TEMPORALES. LOS RÍOS MEDITERRÁNEOS

Tanto los ríos intermitentes como los temporales son comunes en las regiones áridas y en las de clima mediterráneo. Según Vidal-Abarca *et al.* (2004), hay tres elementos clave que pueden ayudarnos a explicar los diferentes

FIGURA 15. EL MEDIO HIPORREICO O *HYPORHEOS*

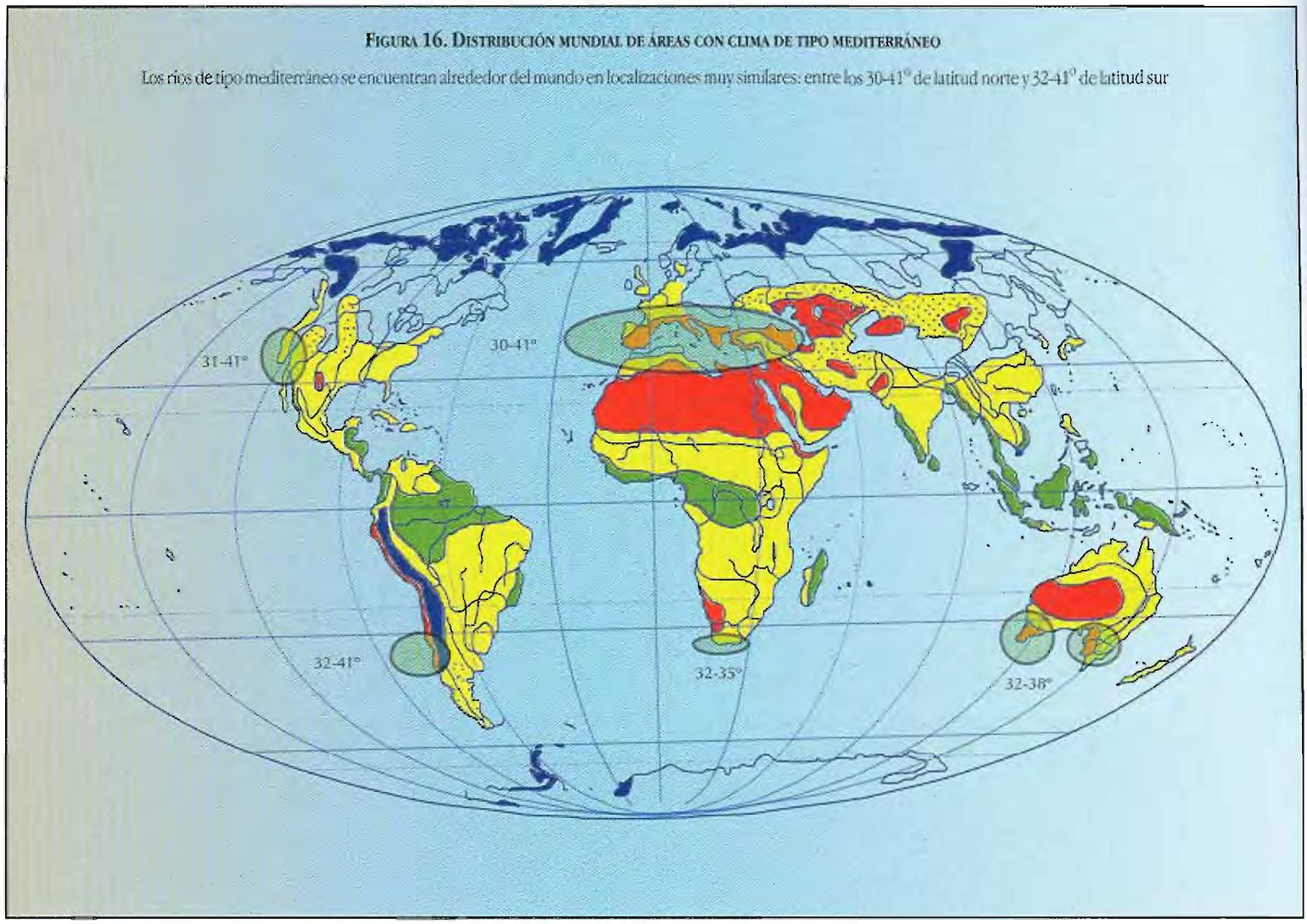
Está constituido por el hábitat que se encuentra en los intersticios del sustrato, tanto del fondo como de los laterales del cauce fluvial. Es de gran importancia porque en los primeros centímetros los peces desovan. En los primeros 15-30 cm de profundidad se encuentran una gran cantidad de formas larvarias de macroinvertebrados, que pueden alcanzar profundidades de varios metros. Muchos de ellos se refugian en él durante las crecidas para evitar ser arrastrados por la corriente. Pero este medio es de especial importancia durante los periodos de estiaje, en los cuales el agua superficial aumenta mucho su temperatura, e incluso llega a secarse, de tal modo que muchos organismos se introducen en él para sobrevivir. En la gráfica inferior se compara la densidad de macroinvertebrados a diferentes profundidades del sustrato hiporreico en época de estiaje (junio) y de lluvia (octubre). Se observa cómo en época de estiaje la densidad de estos en el medio hiporreico aumenta



Fuente: Godbout & Hynes, 1982 (en Giller & Malmqvist, 1998)

Figura 16. Distribución mundial de áreas con clima de tipo mediterráneo

Los ríos de tipo mediterráneo se encuentran alrededor del mundo en localizaciones muy similares: entre los 30-41° de latitud norte y 32-41° de latitud sur

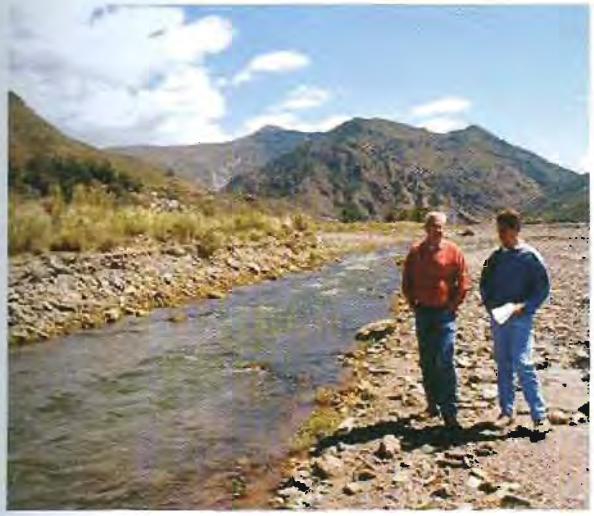


comportamientos hidrológicos observados en los ríos de regiones semiáridas: la temporalidad o permanencia del agua en los cauces, la existencia y tipo de relaciones aguas superficiales-subsuperficiales-subterráneas y la tipología del sustrato litológico. Considerando la temporalidad, se pueden definir tres tipos de ríos: **permanentes**, aquellos donde el flujo de agua permanece durante todo el ciclo hidrológico anual; **temporales**, en los que el flujo cesa durante una parte del año; y **efímeros**, donde el agua circula únicamente tras fuertes precipitaciones. En la Península Ibérica, la temporalidad aumenta a modo de gradiente desde el norte, más húmedo, donde dominan los cauces permanentes, hasta el sur, más árido, donde prevalecen los temporales y efímeros (Vidal-Abarca *et al.*, 1992). A una escala espacial más precisa, un mismo río puede participar de los tres tipos definidos. Surge así un concepto nuevo, referido al carácter intermitente de algunos ríos de las regiones semiáridas. En efecto, en el sureste ibérico existen buenos ejemplos de ríos donde el agua aflora durante todo el año en tramos de mayor o menor longitud (tramos de agua permanente), frente a otros en los cuales el agua se seca durante una parte del año (tramos temporales), separados por otros en los que el agua, si circula, es tras fuertes lluvias (tramos efímeros). Esto se debe, fundamentalmente, a la existencia de descargas de aguas subsuperficiales o procedentes de acuíferos más profundos, que posibilitan la existencia de tramos temporales y/o permanentes.

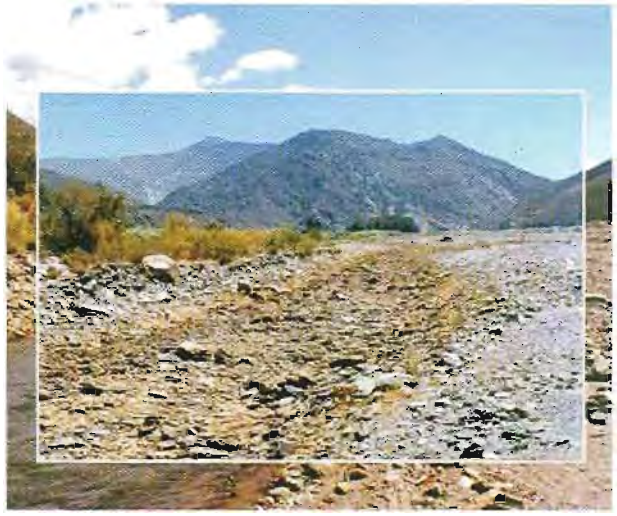
La fauna de estos cursos de agua está formada por taxones generalistas de invertebrados, muchos de los cuales son comunes en los de aguas permanentes. Estos presentan adaptaciones que les permiten sobrevivir, como son la respiración aérea, la capacidad de dispersión mediante el vuelo, fases de resistencia, o simple-

FIGURA 17. RÍO GUADALFEO

Los ríos mediterráneos se caracterizan por períodos húmedos que se corresponden con los meses más fríos, seguidos con frecuencia de períodos de sequía en los meses más cálidos que dejan los cauces secos. En la imagen de la izquierda se aprecia el río Guadalfeo, aguas abajo de la población de Órgiva (Granada). En primavera tardía, una vez que el deshielo termina, el cauce comienza a secarse, como puede verse en la fotografía derecha, tomada en el mismo lugar durante el verano



PRIMAVERA



VERANO

mente un comportamiento migratorio hacia las capas más profundas del **medio hiporreico**[2] los períodos de sequía (véase la figura 15). Para que los organismos puedan desarrollar sus actividades vitales en el *hyporbeos,* este ha de mantener un adecuado grado de oxigenación. De ahí que resulten enormemente perjudiciales para los ríos aquellas actividades que generan sedimentos muy finos que colmatan los intersticios superficiales del medio hiporreico, y que por tanto impiden su oxigenación, como los lavaderos de arenas, los vertidos con alto contenido en partículas finas, o el aporte de sedimentos finos producto de erosión de la cuenca por malas prácticas agrícolas y/o por deforestación.

En los períodos de sequía, muchos de estos cursos de agua dejan de correr, pero quedan charcas aisladas en las que se mantiene la vida. De tal forma, que tras un nuevo período de lluvia, cuando el río vuelve a correr, estas charcas sirven de reservorios para volver a expandir de nuevo las especies que contienen.

La gran proliferación de embalses en los ríos ibéricos hace que muchos de los cursos de agua andaluces aparezcan como intermitentes o temporales, cuando en condiciones naturales no lo serían.

Gran parte de Andalucía presenta un clima de tipo mediterráneo: lluvias en los meses más fríos (otoño y comienzos de la primavera) y veranos muy calurosos y secos, con secuencias más o menos regulares de sequías y de lluvias intensas que producen inundaciones. Esta climatología tiene una clara influencia sobre el régimen hidrológico y características de los cursos de agua que se clasifican como de **ríos de tipo mediterráneo**, los cuales se encuentran alrededor del mundo en localizaciones muy similares: entre los 30-41° de latitud norte y 32-41° de latitud sur (véase la figura 16). Según Bonada Caparrós (2003), en función de su régimen hidrológico se distinguen tres tipos: **permanentes** (con agua corriendo en verano), **intermitentes** (que presentan pozas aisladas en verano) y **efímeros** (que se secan totalmente a las pocas semanas o meses de que cese la corriente). En cualquier caso, el período de bajo o nulo caudal es interrumpido bruscamente por la irrupción de lluvias otoñales, en muchos casos torrenciales y que provocan arrastres e inundaciones que, si bien la mayoría de la gente toma por catástrofes, en realidad vienen a ser un fenómeno natural, periódico, indispensable a este tipo de ríos para mantener su idiosincrasia. Veamos a qué nos referimos.

Cuando se acerca el período de sequía, se incrementan las horas de luz solar y el caudal va disminuyendo, con lo cual se incrementan la temperatura y la salinidad, empieza a disminuir la concentración de oxígeno, etc. En definitiva, los organismos acuáticos disponen de muchos elementos de juicio para detectar lo que está

Curso de agua en Sierra Nevada (Granada)

ocurriendo y poder prepararse para la nueva situación. Muchos de ellos (como peces y algunos macroinvertebrados) migran hacia las cabeceras, o afluentes que mantienen caudal, o bien se mantienen en las pozas que fragmentan el río, migran hacia el hiporreos, o directamente mantienen formas resistentes (huevos, o formas de dormancia como ocurre en muchos insectos e incluso entre los vertebrados con algunos anfibios). Al quedar el cauce seco, la vegetación terrestre lo invade. Cuando vuelven las lluvias, la inundación brusca es fundamental para eliminar esta vegetación que ha invadido los cauces, limpiarlos, redistribuir la materia orgánica que se ha acumulado, y renovar los sustratos, y secuencias de pozas y rápidos. De esta forma quedan, por así decirlo, "acicalados" de forma natural para comenzar un nuevo período en el que las especies subirán desde el hiporreos, o serán arrastradas desde las cabeceras, etc., volviendo a ocupar los renovados cauces.

Por tanto, los períodos de inundaciones y sequías son fundamentales para el normal funcionamiento de los ríos mediterráneos (véase la figura 17). Sin embargo, las derivaciones de caudal, y en particular la existencia de embalses, hacen que en la actualidad a muchos de nuestros ríos se les impida la dinámica estacional antes comentada, lo que está condicionando la desaparición de muchas especies, y favorece la expansión de especies exóticas que, al competir con las autóctonas, magnifica la desaparición de estas. Esto representa una gran pérdida, puesto que la variedad y la heterogeneidad de características que se dan en los ríos mediterráneos ha hecho de ellos unos magníficos escenarios en los quese han diversificado una gran cantidad de especies propias, tanto de vegetales como de animales (Gasith & Resh, 1999), y en ningún lugar del mundo existe un declive tan grande en la pérdida de especies de la fauna acuática como en las regiones mediterráneas (Moyle & Leidy, 1992). Por otro lado, como recientemente han puesto de manifiesto Álvarez Cobelas *et al.* (2005), existe un gran desconocimiento y necesidad de estudios limnológicos en los ecosistemas mediterráneos. Por ello, aún estamos lejos de conocer muchos de los aspectos íntimos del funcionamiento de estos ecosistemas, y ni siquiera una parte importante de las especies que los habitan.

ALGUNAS FALSEDADES QUE, A FUERZA DE REPETIRLAS, SON CONSIDERADAS PRINCIPIOS CASI DOGMÁTICOS

A.— **En una región como la andaluza, no podemos permitir que ninguna gota de agua se pierda en el mar. La energía hidroeléctrica es una energía limpia, así que necesitamos más saltos de agua (embalses y/o minicentrales eléctricas).** Estos son comentarios que están a la orden del día. Muchos piensan que se trata de una idea de una época moderna. Sin embargo, nada más lejos de la realidad, puesto que la idea de que cada gota de agua que los ríos vierten en el mar debería evitarse ya fue expresada por los babilonios. Estos habitaron Mesopotamia unos dos mil años antes de Cristo y fueron unos grandes artífices de canales para riego. En cualquier caso, ¿qué ocurriría si realmente cortáramos el flujo de los ríos al mar, como de hecho estamos haciendo? Los ríos transportan al mar gran cantidad de sustancias, y entre estas gran cantidad de materia orgánica y nutrientes (nitrógeno y fósforo) que permiten la proliferación de fitoplancton, que es la base de toda la red trófica. De hecho, es bien sabido que los estuarios y desembocaduras de los ríos son zonas muy ricas en pesca. Pues bien, si cortamos el suministro de nutrientes, que llega al mar con el agua de los ríos, comenzaríamos a tener problemas de escasez de pesca. Por otro lado, se incrementaría la concentración en sales del agua del mar, etc., y de forma inmediata la retención de sedimentos cambia la dinámica de costas y muchas playas actuales de interés turístico se ven, de hecho, ya afectadas por la reciente construcción de embalses. En definitiva, el resultado final de cortar el agua que le llega al mar a través de los ríos sería una catástrofe de grandes consecuencias.

Veamos ahora la otra cuestión: ¿es realmente limpia la energía hidroeléctrica? Como tal se nos vende y anuncia en los medios de comunicación. Cuesta trabajo pensar que no sea así. Todo el mundo imagina que el agua se toma de un curso de agua, se le hace pasar por una

turbina en donde convierte su energía potencial en energía cinética al mover un generador eléctrico y a continuación el agua vuelve al cauce, sin haber cambiado en su composición. Por tanto, la conclusión inmediata es pensar que en ese proceso no ha ocurrido nada perjudicial para el medio ambiente. Sin embargo, la realidad es muy distinta. Los saltos de agua requieren interponer una barrera (presa) que impide la migración de las especies de peces aguas arriba. Esto es especialmente grave, puesto que muchos peces necesitan migrar a las cabeceras, tanto para desovar como para escapar durante los meses más cálidos de aguas excesivamente calientes, o de tramos que se secan. Es precisamente la existencia de los obstáculos que representan las presas lo que ha hecho que muchas especies de peces, como el esturión, hayan desaparecido de los ríos andaluces (Domezain Fau, 2006). Además del efecto barrera, la producción de energía hidroeléctrica depende de la demanda, por lo que en horas punta se necesita turbinar gran cantidad de agua, lo que se traduce, en la práctica, en aumentos o picos de caudal brusco que arrastran a muchas de las especies. Asimismo, el agua que se turbina es agua de la zona profunda, y esta con frecuencia tiene temperatura muy diferente a la que circula por el río (más fría en meses cálidos y más caliente en los meses fríos).

Las diferentes presas actúan capturando sedimentos, y alterando las condiciones hidromorfológicas aguas abajo, lo que implica fuertes cambios respecto de las condiciones naturales, de caudal. Laminan las avenidas, que son tan importantes para la dinámica fluvial. Todo ello produce cambios en la dinámica de sedimentos y riberas. Es bien conocido el efecto que producen sobre la distribución de pozas y rápidos, el porcentaje de la composición de materiales y la estabilidad de riberas, que afecta a la vegetación riparia. Por otro lado, en épocas de estratificación del agua embalsada el hipolimnion tiene déficit de oxígeno, generándose condiciones reductoras que hacen que el agua que sale una vez turbinada produzca unos efectos devastadores sobre los ríos, muy similares a los que se producen tras vertidos orgánicos. A todo esto debemos añadir que en estas condiciones reductoras se pueden liberar metales pesados de los materiales del fondo, y que se ha demostrado el papel de liberadores de gases de efecto invernadero, como el metano. Por todo ello en conjunto, tenemos razones para ser conscientes del efecto de los embalses, y para no considerar la energía hidroeléctrica limpia e inocua (véase la tabla 2)[3].

Tabla 2. Algunas razones que se deben tener en cuenta sobre los efectos en los cursos de agua que tienen las presas, para producción de energía hidroeléctrica

A. **En contra de los tópicos que en relación con la energía hidroeléctrica postulan que:**

1. Es una energía "limpia".
2. Que toda gota de agua que llega al mar "se desperdicia".
3. Que estas obras suponen inversiones que "benefician a los residentes".

B. **Debemos tener en cuenta los efectos negativos que los embalses y minicentrales producen:**

1. Alteración del flujo natural y sus consecuencias (reducción de hábitat fluvial, cambios en la velocidad, caudal, cambios en la sedimentación...).
2. Barrera para la migración de las especies.
3. Cambios en el régimen de temperaturas (ciclos biológicos...).
4. Efectos contaminantes aguas abajo (condiciones reductoras de hipolimnion...).
5. Todo ello supone un empobrecimiento de la riqueza y diversidad faunística.
6. Contribuyen a la liberación de metales pesados.
7. Liberación de gases en sus sedimentos (CO_2, CH_4, ...) que contribuyen al calentamiento global por efecto invernadero.

B.— **El problema de la inundaciones se debe a que los cauces de los ríos no están limpios. Hay que encauzar y ahondar los cauces**. Por desgracia, cada cierto tiempo se repite en las noticias el hecho de que lluvias torrenciales han causado enormes daños no solo inundando campos, sino especialmente destruyendo y anegando casas. Lamentablemente son muchos los afectados que pierden sus enseres y en no pocas ocasiones a sus seres queridos. Pero, ¿es realmente la naturaleza la culpable? ¿Verdaderamente se debe a causas impredecibles? Muchos son los que piensan que el problema reside en la falta de previsión y actuación humana, pero erróneamente lo achacan a la falta de limpieza de los cauces, o a que hay que actuar acometiendo obras de encauzamiento.

Hoy día, gracias a los medios informáticos e internet, los ciudadanos tienen la posibilidad de acceder a diferentes fuentes con fotografías aéreas de Andalucía que pueden visualizarse incluso en tres dimensiones. Con ellas es muy fácil darse cuenta del verdadero problema de las zonas de catástrofe: cauces constreñidos y en

Río Guadalquivir a su paso por Montoro (Córdoba)

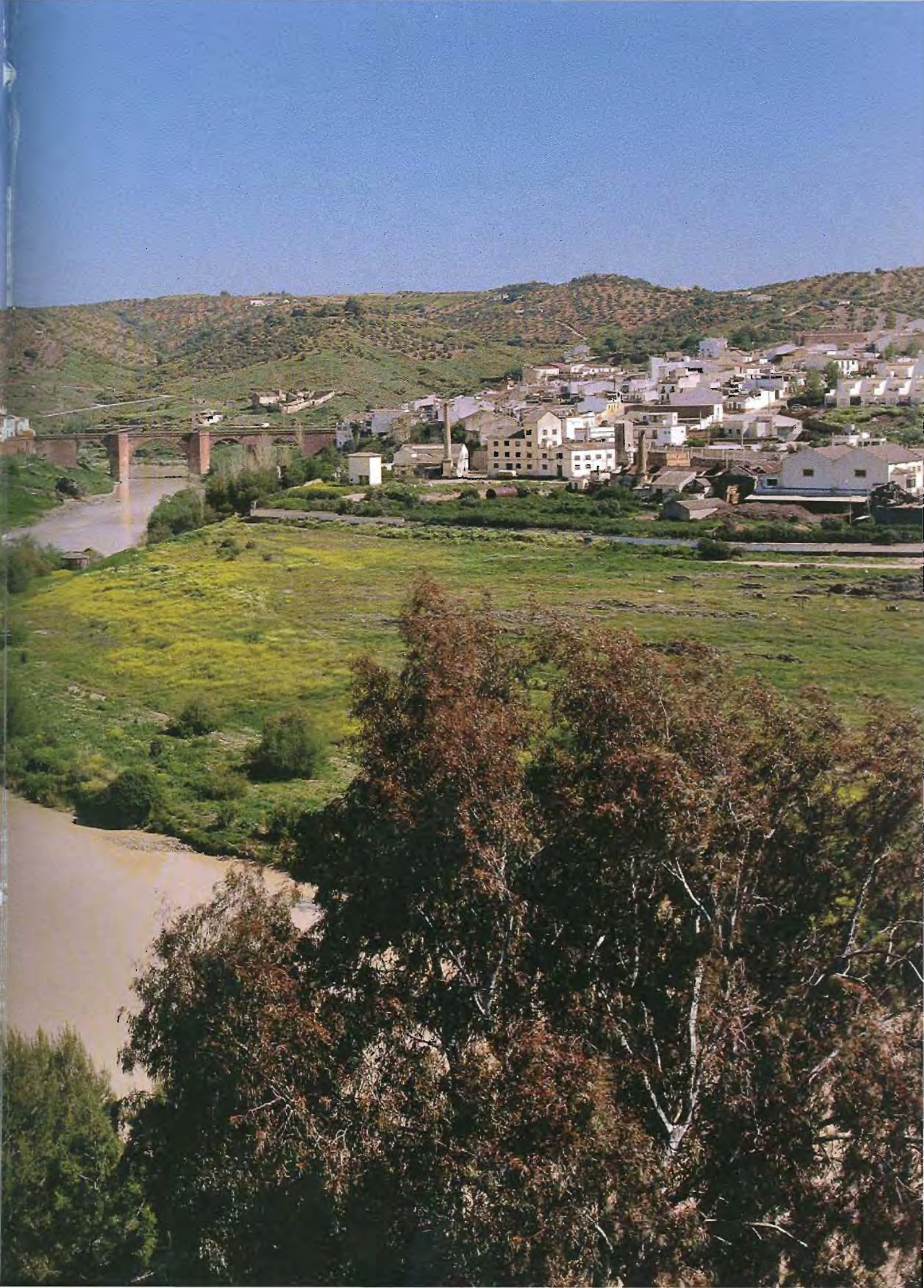


FIGURA 18. RÍO GUADALQUIVIR CERCA DE CORIA DEL RÍO, AGUAS ABAJO DE LA CIUDAD DE SEVILLA. ES FÁCIL APRECIAR COMO EL USO AGRÍCOLA CONSTRIÑE AL RÍO Y DEJA UNA MUY ESCASA O NULA FRANJA DE VEGETACIÓN RIPARIA

muchos casos directamente invadidos por viviendas. Las autoridades locales piden a las confederaciones encauzamientos para solucionar los problemas que se han originado por una total permisividad, en muchos casos por pura especulación urbanística. Pero el encauzar un tramo lo único que hace es trasladar el problema aguas abajo. Se ahondan los cauces, y posteriormente se descubren efectos no deseados, como unas erosiones ascendentes, debido a que los cauces tienden a mantener su perfil fluvial. En general cuando se ahondan los cauces, y se constriñen sus riberas con elementos rígidos, lo que se hace es aumentar la energía hidráulica (al disminuir la relación anchura/profundidad), lo que implica una mayor fuerza erosiva, dándose un progresivo encajonamiento del canal fluvial, con incisión y desestabilización de los cauces fluviales. Al estar el agua a un nivel inferior la vegetación de ribera comienza a tener dificultades para obtener agua, con lo que puede desaparecer. En caso de no existir estructuras rígidas en los taludes, podría darse un proceso natural de recuperación, en el que los taludes serían erosionados y acabarían desmoronándose, ensanchando el cauce, con lo cual disminuye la energía hidráulica. Y por tanto se depositarían sedimentos que estabilizarían el cauce (véase González del Tánago & García de Jalón, 2008).

En definitiva, muchas de las supuestas catástrofes naturales son fruto de actuaciones equivocadas sobre los cauces y de una mala planificación del territorio, y por tanto fáciles de evitar. A todo ello hay que sumar que la deforestación (incluida la producida por los incendios) y las malas prácticas agrícolas, que eliminan la cubierta vegetal y aran en dirección a la pendiente, aumentan la escorrentía superficial tras una tormenta, favoreciendo el desbordamiento de los cauces. El futuro no es halagüeño, teniendo en cuenta el escenario de cambio climático y las previsiones científicas al respecto. El problema se empeorará en los años venideros, ya que Andalu-

Río Guadalimar (Jaén)

cía sufrirá grandes sequías, con períodos de lluvias torrenciales esporádicas.

C.—**¿Los árboles y vegetación de ribera chupan los nutrientes a los cultivos adyacentes, y por tanto habría que eliminarlos?** Realmente nadie expresa esta idea de forma abierta, pero, viendo lo que ocurre con la vegetación de ribera de los cursos de agua que atraviesan las tierras de labor andaluzas, no hay duda de que esta idea está presente en la mente de los agricultores (véase la figura 18). Sin embargo, la existencia de una zona riparia conservada, con una buena franja de vegetación, es necesaria para la conservación y funcionamiento de los sistemas fluviales. Es bien sabido que la vegetación riparia protege los márgenes contra la erosión. Asimismo, es fuente de materia orgánica, indispensable para la organización de las redes tróficas, y proporciona sombra que impide que en los meses más cálidos incida radiación sobre el cauce, evitando una subida excesiva de la temperatura con los efectos perjudiciales comentados anteriormente.

En los ríos con orillas vegetadas, existen numerosas raicillas y ramas caídas sumergidas que ofrecen un magnífico refugio y hábitats para muchas especies, incluidos los peces. Pero su importancia estriba, además, en que, como hemos visto, la vegetación actúa como filtro tamponador de la entrada de nutrientes y pesticidas a los cauces. De tal modo que es la mejor forma que en la actualidad tenemos de luchar contra la contaminación difusa.

PRINCIPALES PROBLEMAS DE LOS RÍOS ANDALUCES

Los responsables tanto de la Agencia Andaluza del Agua como de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir han estado identificando los problemas. Así, en un reciente informe (*Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir*, 2007), se concluye que los principales problemas proceden de:

- Los vertidos urbanos.
- Los vertidos industriales.
- La agricultura (nutrientes, erosión y fitosanitarios).
- La degradación de la vegetación de ribera motivada por diferentes causas.
- Las alteraciones morfológicas igualmente debidas a causas de diversa índole.
- La regulación y extracciones, originadas por los usos del agua, y principalmente el regadío.

Por todo ello, es importante: a) conseguir que los diferentes cursos de agua vuelvan a ser tales, es decir, que "tengan agua" y que el régimen hidrológico siga patrones naturales, o al menos próximos a los naturales; b) eliminar los vertidos urbanos e industriales; c) reducir la contaminación difusa. Para ello se necesita que las riberas sean funcionales desde el punto de vista ecológico, para que cumplan con su efecto "tamponador" y de reducción de erosión.

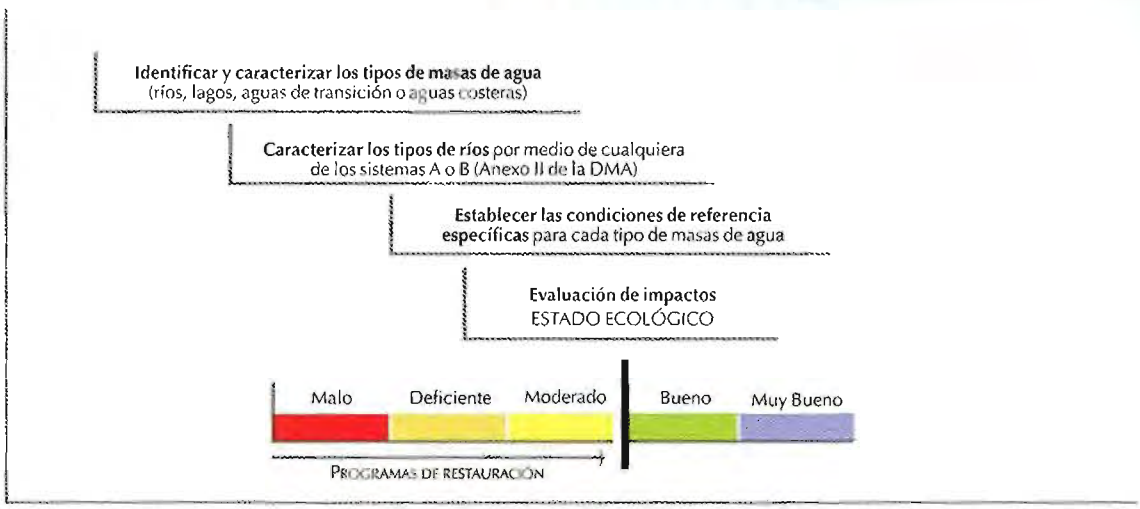
Para lograrlo, es necesario: a) hacer cumplir la legislación vigente; b) poner en marcha programas de restauración de cursos de agua (riberas, etc.)[4]; c): realizar cambios de gestión, con una planificación política que incluya ordenaciones del territorio y planificación de cultivos, acordes.

Otro aspecto importante, incluido en la Directiva Marco del Agua, es la inclusión de los aspectos económicos. Pero al hablar de costes/beneficios hemos de cuantificar otros aspectos de interés económico y más difíciles de entender que de medir; entre ellos, calcular en euros el valor que tiene el poder disfrutar de unos medios acuáticos en buen estado ecológico, el mantener su biodiversidad, o el puro placer de pasear por un soto fluvial.

Pero todo ello pasa por la necesidad del deslinde del **dominio público hidráulico** de nuestros ríos. Concepto bien definido en nuestra legislación y cuyo reglamento ha sido modificado recientemente (*BOE* de 16 de enero de 2008, 755 en el Real Decreto 9/2008 de 11 de enero, publicado en el BOE de 16 de enero de 2008, páginas 3141-3149). Se distinguen los siguientes ele-

FIGURA 19. LA APLICACIÓN DE LA DIRECTIVA MARCO DEL AGUA, COMO MARCO JURÍDICO EUROPEO EN EL QUE SE AMPARA LA PROTECCIÓN DE LOS SISTEMAS ACUÁTICOS, EXIGE UNA PERSPECTIVA ECOLÓGICA QUE DEFINE EL "ESTADO ECOLÓGICO"

De ese modo, las aguas que en el año 2015 no alcancen el "buen estado" deben seguir programas de restauración hasta alcanzarlo. Esta figura resume lo que significa aplicar la Directiva Marco del Agua (DMA)



Fuente: Javier Alba-Tercedor

mentos referentes al dominio público hidráulico y a sus zonas asociadas (véase la figura 19):

• **Álveo o cauce natural** de una corriente continua o discontinua es el terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias. La determinación de ese terreno se realizará atendiendo a sus características geomorfológicas y ecológicas, teniendo en cuenta las informaciones hidrológicas, hidráulicas, fotográficas y cartográficas que existan, así como las referencias históricas disponibles de que una corriente continua o discontinua es el terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias. Se considerará como caudal de la máxima crecida ordinaria la media de los máximos caudales anuales, en su régimen natural, producidos durante diez años consecutivos, que sean representativos del comportamiento hidráulico de la corriente.

• **Ribera** es cada una de las fajas laterales situadas dentro del cauce natural, por encima del nivel de aguas bajas.

• **Margen** es el terreno que limita con el cauce y situado por encima de este.

• **Zona de policía** es la constituida por una franja lateral de cien metros de anchura a cada lado, contados a partir de la línea que delimita el cauce; en ella se condiciona el uso del suelo y las actividades que en él se desarrollen.

• **Zona de servidumbre** es la franja situada lindante con el cauce, dentro de la zona de policía, con ancho de cinco metros, que se reserva para usos de vigilancia, pesca y salvamento.

• **Lecho** o fondo de los lagos y lagunas es el terreno que ocupan sus aguas, en las épocas en que alcanzan su mayor nivel ordinario. En los embalses superficiales, es el terreno cubierto por las aguas cuando estas alcanzan su mayor nivel como consecuencia de las máximas crecidas ordinarias de los ríos que lo alimentan.

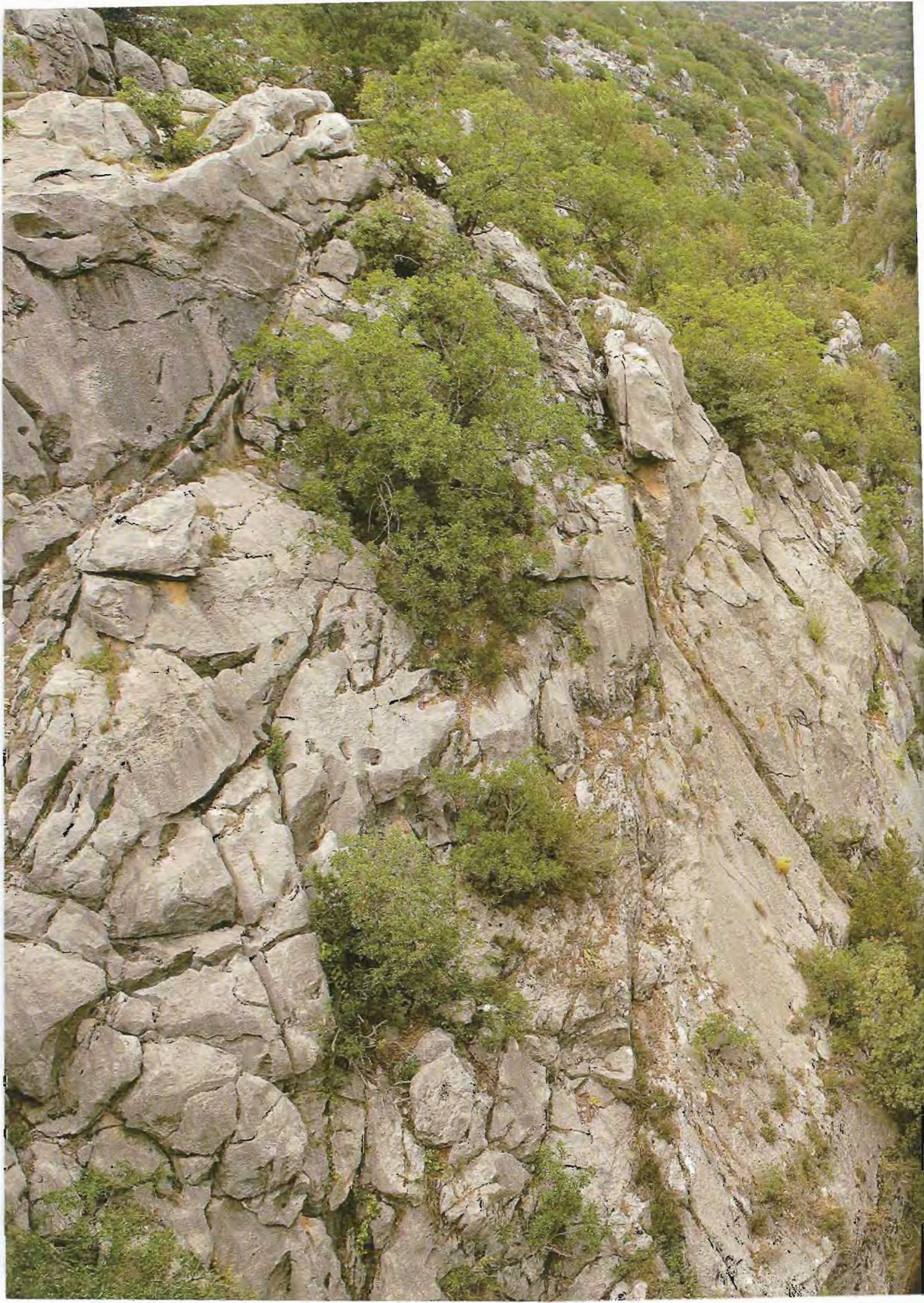
• **Zonas inundables** son las delimitadas por los niveles teóricos que alcanzarían las aguas en las avenidas, cuyo período estadístico de retorno sea de quinientos años. En estas zonas no se prejuzga el carácter público o privado de los terrenos, y el Gobierno podrá establecer limitaciones en el uso, para garantizar la seguridad de personas y bienes.

En consecuencia, según la ley, debe respetarse la zona de servidumbre de cinco metros que comienza en el nivel de máxima crecida anual (medida como la media de los máximos caudales anuales, en su régimen natural producidos durante diez años consecutivos, que sean representativos del comportamiento hidráulico de la corriente), y los 100 m de zona de policía, en los que el nuevo reglamento (Real Decreto 9/2008, ya citado) regula: a) las alteraciones sustanciales del relieve natural del terreno; b) las extracciones de áridos; c) las construcciones de todo tipo, tengan carácter definitivo o provisional; d) cualquier otro uso o actividad que suponga un obstáculo para la corriente en régimen de avenidas, o que pueda ser causa de degradación o deterioro del estado de la masa de agua, del ecosistema acuático.

EN QUÉ CONSISTE LA DIRECTIVA MARCO DEL AGUA. EXIGENCIAS Y PERSPECTIVAS

En diciembre de 2000, se aprobó una directiva europea, la Directiva Marco del Agua (*DOCE*, 2000), que establece un marco que regula la vigilancia y control de los sistemas acuáticos. El principal logro ha sido contemplar la gestión de los medios acuáticos considerándolos como ecosistemas. De tal modo que aparece un nuevo término, el llamado **estado ecológico**[5], como medida del buen funcionamiento de los ecosistemas.

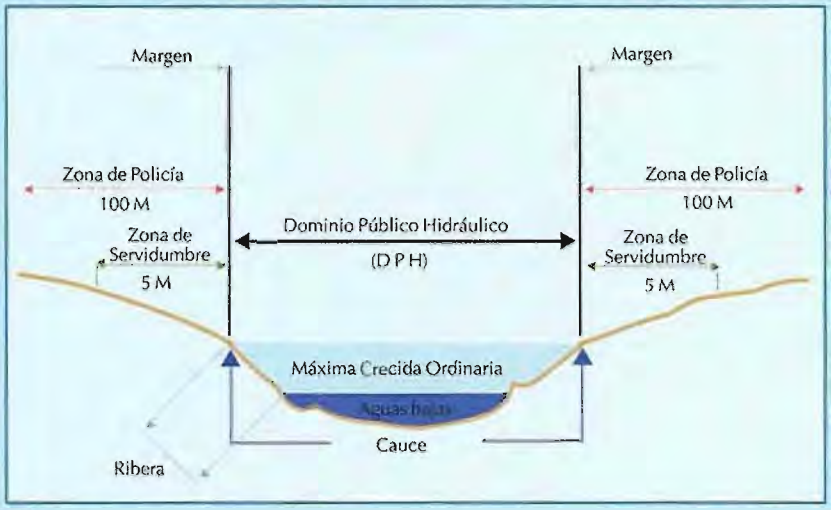
Para su correcta aplicación (véase la figura 20), es necesario: identificar las diferentes masas de agua y establecer los tipos de ríos y las características de cada uno de los tipos en condiciones de referencia (considerando como tal el mejor estado posible, idealmente en condiciones prístinas y no alteradas), caracterizando tanto las condiciones fisicoquímicas como de la composición y abundancia de las comunidades de organismos (flora acuática, fauna de invertebrados bentónicos y peces). El estado ecológico deberá medirse como grado de desviación de las condiciones de referencia. Los resultados han de expresarse como desviación respecto a las condiciones de referencia, como **cociente de calidad ecológica** o *ecological quality ratio* (EQR),



Curso alto del río Guadalquivir
en el Parque Natural Sierra de Cazorla,
Segura y Las Villas (Jaén)

Figura 20. Según la ley, debe respetarse la zona de servidumbre de cinco metros, que comienza en el nivel de máxima crecida anual (medida como la media de los máximos caudales anuales, en su régimen natural producidos durante diez años consecutivos, que sean representativos del comportamiento hidráulico de la corriente), y los cien metros de zona de policía, en los que el nuevo reglamento (Real Decreto 9/2008, ya citado) regula:

a) las alteraciones sustanciales del relieve natural del terreno; b) las extracciones de áridos; c) las construcciones de todo tipo, tengan carácter definitivo o provisional; d) cualquier otro uso o actividad que suponga un obstáculo para la corriente en régimen de avenidas o que pueda ser causa de degradadación o deterioro del estado de la masa de agua, del ecosistema acuático



Fuente: Ministerio de Medio Ambiente

EQR= Vo/Vr (Vo= valor observado; Vr= valor de referencia). La relación ha de expresarse con valores numéricos entre 0 y 1 (el "muy buen" estado ecológico quedará representado por valores próximos a la unidad y el "mal estado" ecológico con valores próximos a cero). El estado ecológico ha de medirse para cada uno de los indicadores, siendo el resultado peor obtenido con cualquiera de ellos el que da el resultado final. Así, por ejemplo, si con la fisicoquímica el resultado es de buen estado ecológico, mientras que los macroinvertebrados indican un mal estado, el juicio final considerado será de mal estado.

El objetivo es que para el año 2015 los cursos de agua de la Unión Europea deben alcanzar el buen estado ecológico, lo que exige programas de restauración e inversiones importantes. En cualquier caso, la Directiva Marco del Agua ha supuesto una revolución en lo que a gestión de los cursos de agua se refiere, exigiendo cambios de mentalidad y gran esfuerzo para poder cumplir con sus objetivos. Sin lugar a dudas, las exigencias que impone son una fuente de optimismo, pensando en la necesaria restauración y eliminación de actividades que ayuden a alcanzar el buen estado ecológico de nuestros ríos.

CONCLUSIÓN FINAL

Los cursos de agua son algo más que canales que conducen agua. El agua que contienen no es más que un componente de estos ecosistemas. Basta mirar con atención para descubrir una rica biodiversidad, sustentada por una compleja red de interrelaciones entre procesos fisicoquímicos y biológicos, que es fruto de una larga historia geológica y evolutiva.

La pertinaz sequía que afecta a la Península, y de forma especial a la Comunidad andaluza, está provocando una utilización exhaustiva de los recursos hídricos. Este hecho puede considerarse algo natural dada la importancia de este elemento para el desenvolvimiento de todas las actividades diarias, tanto domésticas como de otros usos. Pero el problema radica en que nos hemos olvidado de que los cursos de agua no son meros canales que conducen agua (considerada como un "recurso"), sino que, por el contrario, son unos ecosistemas vivos que mantienen una gran diversidad, con un gran número de endemismos conocidos y con muchas especies que aún no hemos llegado a estudiar. Se debería desterrar del vocabulario el referirnos al agua como "el recurso agua".

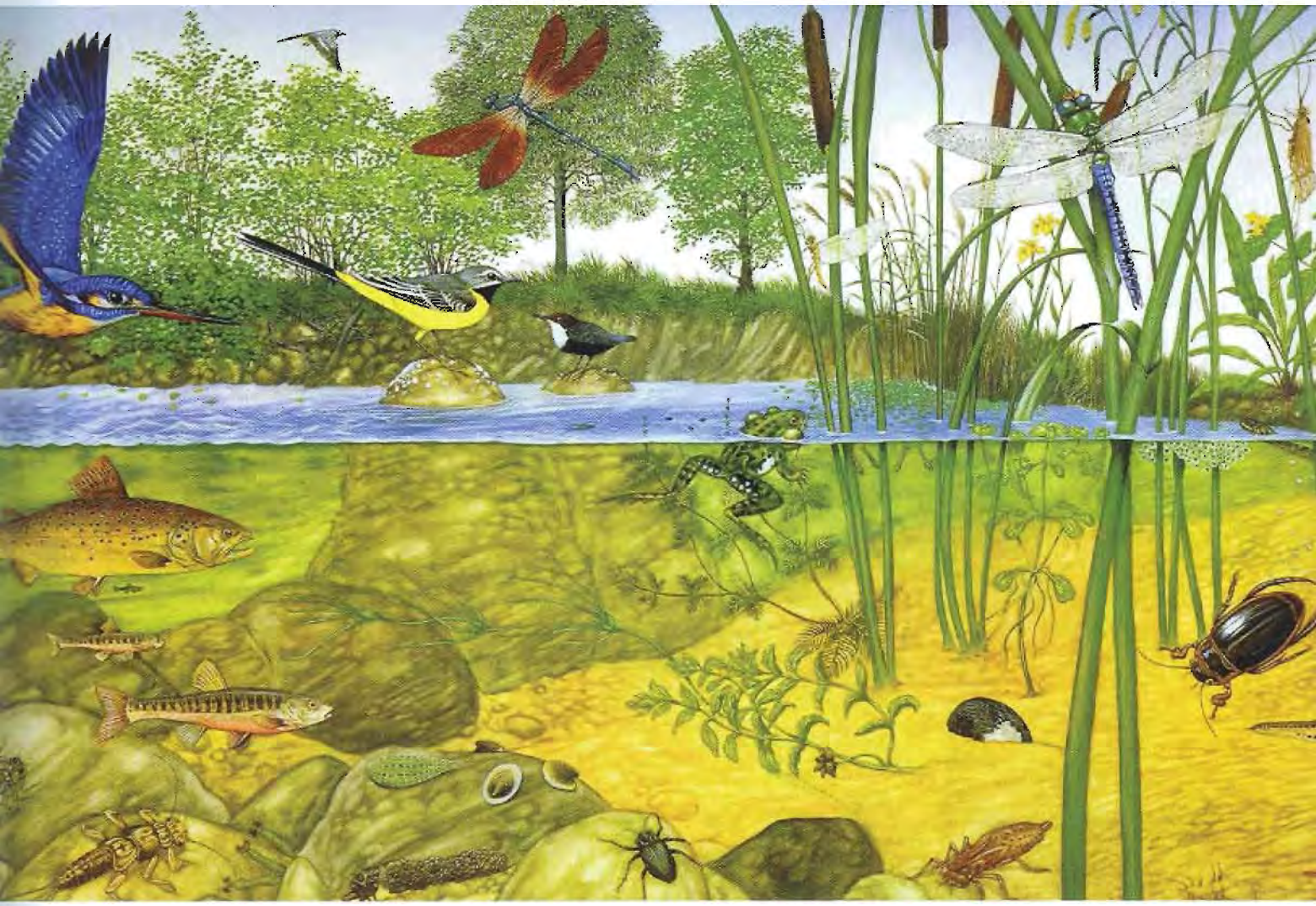
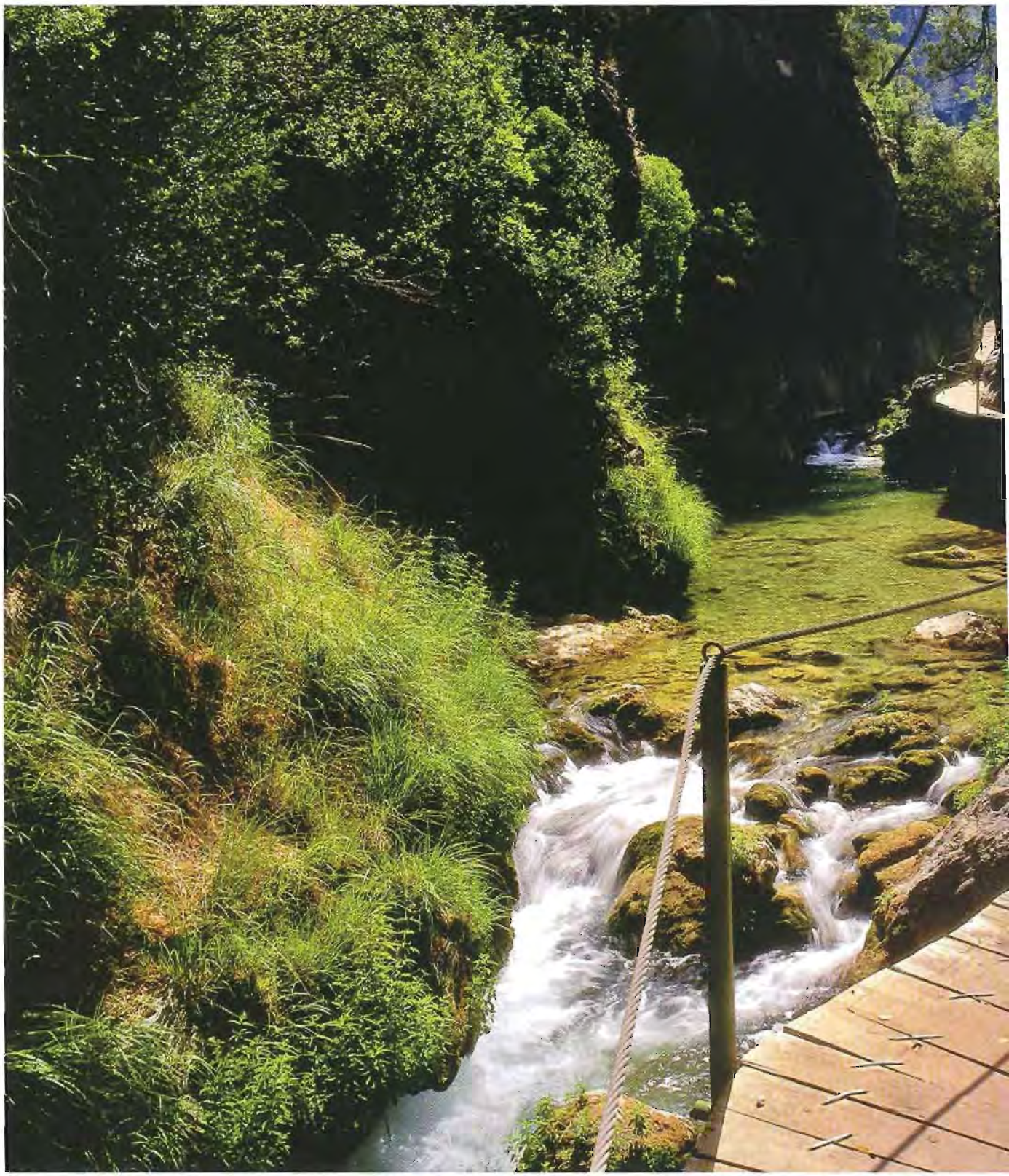


FIGURA 21. LOS CURSOS DE AGUA SON ALGO MÁS QUE CANALES QUE CONDUCEN AGUA. EL AGUA QUE CONTIENEN NO ES MÁS QUE UN COMPONENTE DE ESTOS ECOSISTEMAS. BASTA MIRAR CON ATENCIÓN PARA DESCUBRIR UNA RICA BIODIVERSIDAD, SUSTENTADA POR UNA COMPLEJA RED DE INTERRELACIONES ENTRE PROCESOS FISICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS, QUE ES FRUTO DE UNA LARGA HISTORIA GEOLÓGICA Y EVOLUTIVA

La situación administrativa en lo que respecta a las competencias del agua está enormemente repartida, con fuerte participación entre el Ministerio de Medio Ambiente (agencias del agua, y en particular por las actuales demarcaciones hidrográficas) y el Ministerio de Agricultura, o sus equivalentes consejerías andaluzas; tanto que se dan casos curiosos en que la protección de la parte biológica es competencia de la Consejería de Medio Ambiente y la "explotación-planificación" de la parte física depende de otros organismos. Tenemos situaciones que van en contra de lo puramente razonable: como ejemplo, las licencias de creación de zonas de ocio y expansión turística (urbanizaciones, campos de golf, etc.) en zonas con una total carencia de agua, lo que implica una progresiva "depredación" que se transluce en la situación actual en la que vemos como "natural" tener nuestros cursos de agua secos.

A los expertos en diferentes grupos se nos pide —y participamos en— la elaboración de libros rojos. Pero en el caso de los cursos de agua, ¿cómo podemos proteger a las especies sin conservar los ecosistemas en que habitan? No se trata solo de dejarlos sin agua. Basta un punto contaminante para que aguas abajo destruyamos a muchas especies. Basta con que se altere el régimen de caudales para que no puedan completar sus ciclos vitales. Basta con alterar la vegetación, con hacer actuaciones en su cauce, para que cambien todas las condiciones ecológicas necesarias para el sostenimiento del ecosistema.

Es hora de que dejemos de hablar del pacto social por el agua. Ya ha habido muchos intentos en este senti-



do. Y el concepto de "pacto social" parece tener implícito el concepto de "reparto" del agua como un recurso, olvidando que es un componente de los ecosistemas acuáticos. Por eso tenemos que decidir entre todos si de verdad queremos conservar nuestros ecosistemas acuáticos, lo que requiere un nuevo pacto social desde esta nueva perspectiva, "el pacto ecosistémico del agua".

En Andalucía hemos de trabajar codo con codo todos los que tenemos que decir algo (desde investigadores, agricultores, técnicos responsables de las diferentes admi-

Río Borosa.
Parque Natural de Cazorla,
Segura y Las Villas (Jaén)

nistraciones, asociaciones ecologistas, asociaciones de pescadores, etc.) para hacer un pacto social desde la perspectiva ecosistémica, por nuestros ecosistemas acuáticos, lo que tiene que pasar necesariamente por una coordinación transversal para que estos se gestionen por un todo y no por compartimentos estancos. Pero no olvidemos que todos tenemos una parte de verdad, y por tanto hace falta un diálogo sincero si queremos llegar a un compromiso que nos lleve hacia un pacto social por la conservación de los cursos de agua de la Comunidad andaluza, en el marco legal existente y la cobertura de la Directiva Marco del Agua.

Notas al capítulo 1

1.— De hecho, autores como Throup (1966) sugirieron que las discontinuidades que encontró Illies en 1953 no eran sino artefactos causados por contaminaciones locales.

2.— El medio hiporreico o *hyporheos* está constituido por el hábitat que se encuentra en los intersticios del sustrato, tanto del fondo como de los laterales del cauce fluvial. Es de gran importancia, porque en los primeros centímetros de este los peces desovan. En los primeros 15-30 cm de profundidad se encuentran una gran cantidad de formas larvarias de macroinvertebrados, que pueden alcanzar profundidades de varios metros. Muchos de ellos se refugian en el *hyporheos* durante las crecidas para evitar ser arrastrados por la corriente. Pero este medio es de especial importancia durante los períodos de estiaje, en los cuales el agua superficial aumenta mucho su temperatura, e incluso llega a secarse, de tal modo que muchos organismos se introducen en él para sobrevivir (véase la figura 14).

3.— Por otro lado, los embalses para regadío invierten el régimen hidrológico de nuestros ríos: dejan los cauces prácticamente secos en los meses en los que de forma natural deben llevar el máximo de caudal, y en los meses más cálidos abren sus compuertas para llevar el agua a los campos de las partes bajas. Justo en unos meses en los que las especies acuáticas esperaban poco caudal y aguas con mayores temperaturas, se encuentran con todo lo contrario, lo que resulta enormemente dañino para la gran mayoría de ellas.

4.— Recientemente el Ministerio de Medio Ambiente ha comenzado un programa denominado "Estrategia Nacional de Restauración de Ríos", dentro del cual ha editado una magnífica *Guía metodológica para la elaboración de proyectos de restauración de ríos* (González del Tánago & García de Jalón, 2008).

5.— La propia directiva define el estado ecológico como: "una expresión de la calidad de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales".

Bibliografía al capítulo 1

— Allan, J. D., 1995, *Stream Ecology. Structure and function of running waters*, Chapman & Hall, London.

— Álvarez Cobelas, M.; Rojo, C.; & Angeler, D. G., 2005, "Mediterranean Limnology, current state, gaps and the future", *Journal of Limnology*, 64 (1), pp. 13-29.

— Berner, E. K. & Berner, R. A., 1987, *The global water cycle*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

- Bonada Caparrós, N., 2003, *Ecology of the macroinvertebrate communities in Mediterranean rivers at different scales and organization levels,* tesis doctoral, Universidad de Barcelona.
- Botosaneanu, L., 1979, "Quinze années de recherches sur la zonation des cours d'eau: 1963-1979 (Revue commenté de la bibliographie et observation personnelles)", *Bijdragen tor de Dierkunde*, 49 (1), pp. 109-134.
- Cushing, C. E. & Allan, D. J., 2001, *Streams. Their ecology and life,* Academic Press, San Diego.
- Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir, noviembre de 2007, *Principales problemas en materia de gestión de las aguas en la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir,* 190 pp.
- *Diario Oficial de las Comunidades Europeas,* 2000, *Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas,* L 327 de 22.12.00, 69 pp.
- Domezain Fau, A., 2006, "La acuicultura en las aguas continentales, Naturaleza", *Zoología,* VII, *Proyecto Andalucía,* vol. XIX, Publicaciones Comunitarias, Sevilla, pp. 335-350.
- Gasith, A. & Resh, V. H., 1999, "Streams in Mediterranean climate region, Abiotic influences and biotic responses to predictable seasonal events", *Annual Review of Ecological Systems,* 30, pp. 51-81.
- Gil Sánchez, J. M. & Alba-Tercedor, J., 1988, "El cangrejo de río autóctono en la provincia de Granada", *Quercus,* 144, pp. 14-15.
- Gil Sánchez, J. M. & Alba-Tercedor, J., 2002, "Ecology of the native and introduced crayfishes *Austropotamobius pallipes and Procambarus clarkii* in southern Spain and implications for conservation of the native species", *Biological Conservation,* 105, pp. 75-80.
- Giller, P. S. & Malmqvist, B., 1998, *The Biology of streams and rivers,* Oxford University Press.
- González del Tánago, M. & García de Jalón, D., 1995, *Restauración de ríos y riberas,* Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- González del Tánago, M. & García de Jalón, D., 2008, *Guía Metodológica para la elaboración de proyectos de restauración de ríos y de las bases de la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos,* Ministerio de Medio Ambiente, Programa Agua, Madrid.
- Hawkins, C. P. & Norris, R. H., 2000 (eds.), "Landscape classification: aquatic biota and bioassessments", *Journal of the North American Benthological Society,* 19 (3), pp. 367-571.
- Hellawell, J., 1986, *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management,* Elsevier Applied Science Publications, London & New York, 546 pp.
- Hynes, H. B. N., 1970, *The ecology of running waters,* University of Toronto Press, Toronto.
- Hynes, H. B. N., 1975, "The stream and its valley", *Internationale. Vereinigung für Theoretishe und Angewante Limnologie,* 19, pp. 1-15.
- Illies, J. & Botosaneanu, L., 1963, "Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes, considérées surtout du point de vue faunistique", *Mitteilungen Internationale Vereiningung für Theoretische und Angewandte Limnologie,* 12, pp. 1-57.
- Mason, C. F., 1984, *Biología de la contaminación del agua dulce,* Alhambra, Madrid.
- Moyle, P. B. & Leidy, R. L., 1992, "Loss of biodiversity in aquatic ecosystems: evidence from fish faunas". *In* Fiedler, P. L. & Jain, S. K. (eds.), *Conservation biology: the theory and practice of nature conservation, preservation, and management,* Chapman and Hall, NewYork.
- Ortiz Casas, J. L., 2004, "La directiva marco del agua (2000/ /60/CE): aspectos relevantes para el proyecto GUADALMED", *Limnetica,* 21(3-4), 2002, pp. 5-12.
- Rallo, A. & Orive, E., 2002, *Ríos de Bizkaia,* Instituto de Estudios Territoriales de Bizkaia, Diputación Foral de Bizkaia.
- Thorup, J., 1966, "Substrate type and its value as a basis for the delimitation of bottom fauna communities in running waters", *Pygmatuning laboratory of Field Biology,* 4, pp. 59-74.
- Tierno de Figueroa, J. M.; Luzón-Ortega, J. M.; & López-Rodríguez, M. J., 2007, "Los Ríos Mediterráneos: diversidad y conservación de su fauna", en *Biodiversidad y conservación de la flora y fauna en ambientes mediterráneos,* Sociedad Granatense de Historia Natural, Granada, pp. 795-838.
- Tinaut Ranera, J. A., 2007, *"Zoogeografía. Fauna Andaluza"*, en Tinaut, A. y Pascual, F. (coords.), Proyecto Andalucía, Vol. XIX, Naturaleza. Zoología VII, 2006, pp. 69--122. (Tinaut, A. y Pascual, F., coord.), Publicaciones Comunitarias S. A., Sevilla, pp. 69-122.
- Towsend, C. R., 1980, *The Ecology of streams and rivers,* Edward Arnold.
- Vannotte, R. L.; Minshall, G. W.; Cummins, K. W.; Sedell, J. R.; & Cushing, C. E., 1980, "The river continuum concept". *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences,* 37, pp. 130-137.
- Vidal-Abarca, M. R.; Gómez, R.; & Suárez, M. L., 2004, "Los ríos de las regiones semiáridas", *Ecosistemas,* 1, pp. 1-15.
- Vidal-Abarca, M. R.; Suárez, M. L.; & Ramírez Díaz, L., 1992, "Ecology of Spanish semi-arid streams", *Limnetica,* 8, pp. 51-160.
- Whitton, B. A. (ed.), 1975, *River Ecology,* Blackwell, Oxford.
- Whitton, B. A., 1982, *Ecology of European Rivers,* Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Ziglio, G.; Siligardi, M.; & Flaim, G. (Eds.), 2006, *Biological monitoring of rivers: applications and perspectives,* John Wiley & Sons Ltd., Chichester, UK.

RECURSOS DIGITALES Y PÁGINAS WEB:

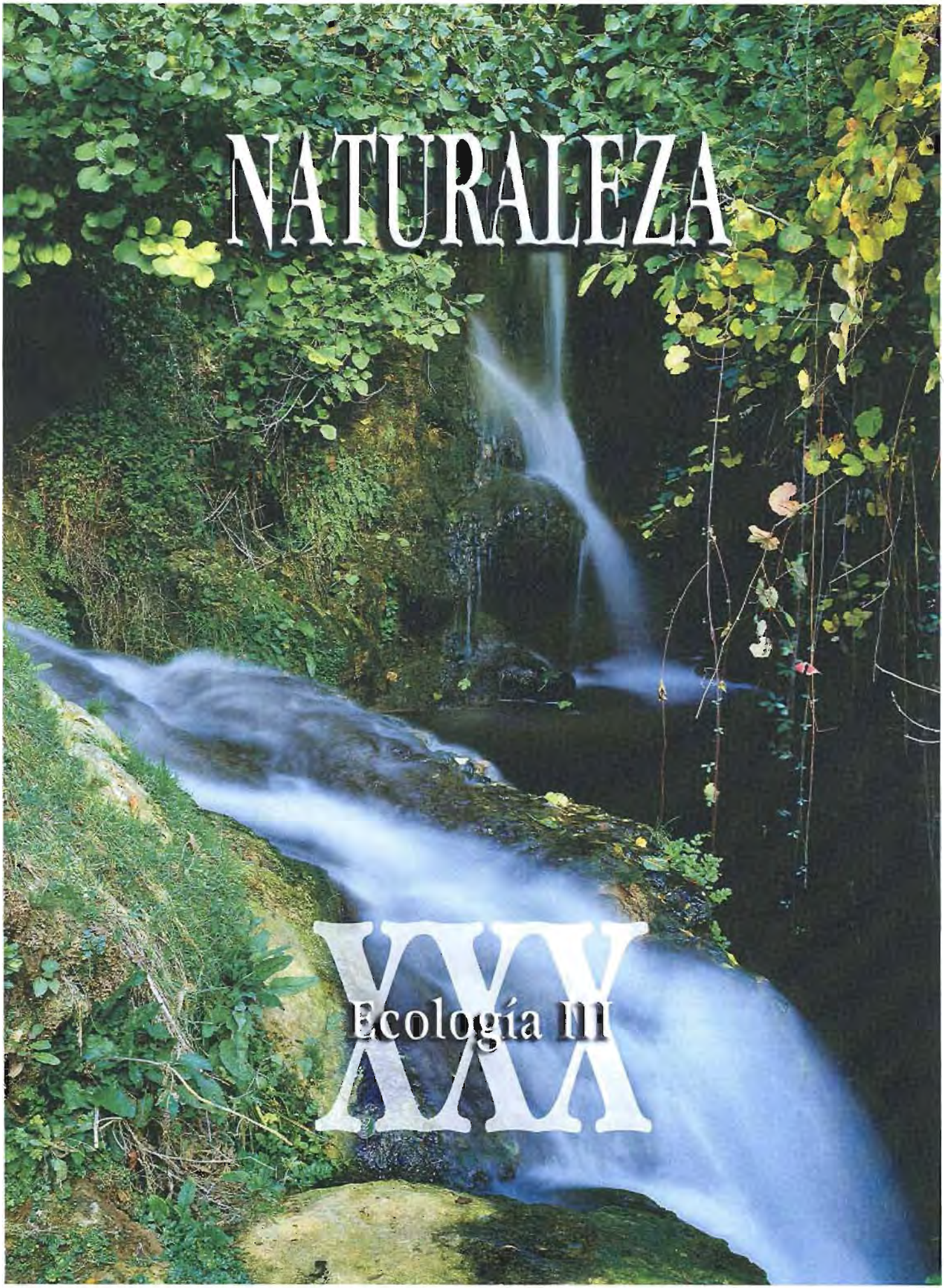
- Agencia Andaluza del Agua: http:// www.agenciaandaluzadelagua.com; Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir: www.chguadalquivir.es
- Revista *Ecosistemas:* (http://www.revistaecosistemas.net/pdfs/ /157.pdf)
- Instituto de Estudios Territoriales de Bizkaia: (http://ietb.bizkaia.net/ /Agerkariak/Rios_Bizkaia2/rios2.zip).
- <http://www.mma.es/portal/secciones/acm/aguas_continent_ zonas_asoc/dominio_hidraulico/antecedentes.htm>

Autores del PROYECTO ANDALUCÍA. NATURALEZA: ECOLOGÍA

Javier Alba-Tercedor
Julio Manuel Alcántara Gámez
Miguel Alcaraz Medrano
Ana C. Andreu Rubio
Trinidad Angosto Trillo
José Aracil Mira
Pedro Arrojo Agudo
Juan Arroyo Marín
Antonio Avilés Benítez
Asunción Baquerizo Azofra
Javier Benito Andrés
Carmen Rosario Beuzón Lopez
Juan Muñoz Blanco Lozano
José M.ª Blanco Martín
Rosario Blanco Portales
Francisco Borja Barrera
Miguel Ángel Botella Mesa
Miguel Bruno Mejías
José Luis Caballero Repullo
Javier Cabello Piñar
Baltasar Cabezudo Artero
Juan Manuel Calvo Álvarez
Sergio Cañete Hidalgo
Juan Capel Salinas
José Antonio Carreira de la Fuente
Francisco Carro Mariño
Eloy Manuel Castellanos Verdugo
Vicente Castelló
Francisco Castillo Rodríguez
José Manuel Castro Jiménez
Arturo Francisco Chica Pérez
Manuel Gonzalo Claros Díaz
Luis Cruz Pizarro
Miguel Cueto Romero
Ginés Alfonso de Gea Gillén
Inmaculada de Vicente Álvarez-Manzaneda
Jesús Duarte Duarte
Fidel Echevarría Navas
Miguel Ángel Farfán Aguilar
Rocío Fernández Alés
Rafael Fernández Muñoz
Manuel Enrique Figueroa Clemente
Jordi Flos Baisols
Jesús Forja Pajares
Juan Manuel Fornell Fernández
Antonio Gallardo Correa
Críspulo Gallegos Montes
Rafael Antonio García Delgado
Francisco García Herruzo
Carlos Manuel García Jiménez
Jesús García Lafuente
J. Enrique García Muñoz
Ramiro García Navarro
J. Enrique García Raso
Roberto García Ruiz
Francisco Gómez Figueiras
M.ª del Carmen Gómez Jiménez
César Gómez Lahoz
Abelardo Gómez Parra
Eduardo González Mazo
Francisco José Guerrero Ruiz
José Guevara Senciales
Arndt Hampe
Rafael Haro Ramos
Dámaso Hornero Méndez
Luis Jiménez Alcaide
Carlos Jiménez Gámez
Vicente Jurado Doña
Pablo A. Lara Martín
Roberto Lázaro
Juan Carlos Linares Calderón
Enrique López Carrique
José B. López Quintanilla
Miguel Ángel Losada Rodríguez
Rosa Lozano Durán
Rafael Lozano Ruiz
Juan Lucena Rodríguez
Carlos J. Luque Palomo
Alberto P. Macho Escribano
Diego Macías Moy
Pablo Marina Ureña
Leopoldo Martínez Nieto
José Manuel Martínez Rivas
Mercedes Martínez Rodríguez
Teodoro Marañón
Rosa Mendoza Castellón
José A. Merino Ortega
Carlos Montes
José Moreira
Diego Moreno Lampreave
Alberto José Moya López
Gabriel Navarro Almendros
Francisco Bruno Navarro Reyes
F. Xavier Niell Castanera
José Ramón Obeso Suárez
Miguel Ortega-Sánchez
Rafael Pacheco Reyes
Paul Palmqvist Barrena
Pedro Partal López
Carlos Pedrós-Alió
Julio Peñas De Giles
Rafael Pérez de Guzmán Puya
José Lucas Pérez Llorens
Fernando Pliego Alfaro
Clara Pliego Prieto
María José Polo Gómez
Francisco I. Pugnaire De Iraola
José Manuel Quero Fernández de Molina
Cayo Ramos Rodríguez
Susana Redondo Gómez
Manuel Rendón Martos
Andreas Reul
Pedro José Rey Zamora
Jaime Rodríguez Martínez
Eduardo Rodríguez Bejarano
Jesús Javier Rodríguez Maroto
José Miguel Rodríguez Maroto
Valeriano Rodríguez Martínez
Francisco Rodríguez Sánchez
J. María Román
José Luis Rueda Ruiz
Francisco Javier Ruiz Cantón
Valeriano Ruiz Hernández
Javier Ruiz Segura
J. Sánchez
Elena Sánchez-Badorrey
Sebastián Sánchez Villascaras
Juan Manuel Santiago Zaragoza
Fernando Santos Estévez Pastor
José I. Seco Gordillo
Jose María Soria Domínguez
Enrique Soria Lascorz
Pedro Antonio Tíscar Oliver
Iñaki Vadillo Pérez
Victoriano Valpuesta Fernández
Francisco Valle Tendero
Águeda Vázquez López-Escobar
Amalia Vega Carranza
Antonio Ventosa Ucero
Carlos Vereda Alonso
Rafael Villar Montero
Miguel Yanes Puga

La iniciativa de esta obra colectiva, su concepción, la corrección, adaptación y ajuste de sus textos; y el control y dirección de la redacción y expresión de los mismos, así como la realización y/o selección de sus fotografías, su compaginación y la gestión de calidad han ido a cargo de los servicios editoriales y fotográficos de PUBLICACIONES COMUNITARIAS

COPYRIGHT © PUBLICACIONES COMUNITARIAS. RESERVADOS TODOS LOS DERECHOS


NATURALEZA
XXX
Ecología III

Ecología. Coordinador de la serie

F. Xavier Niell Castanera — *Catedrático de Ecología. Universidad de Málaga*

Tomo XXX. Coordinador

F. Xavier Niell Castanera — *Catedrático de Ecología. Universidad de Málaga*

Tomo XXX. Autores

Javier Alba-Tercedor — *Doctor en Ciencias Biológicas. Catedrático de Zoología. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada*

Juan Lucena Rodríguez — *Catedrático de Ecología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga*

Carlos M. García — *Profesor Titular de Ecología. Doctor en Ciencias Biológicas. Universidad de Cádiz*

Luis Cruz Pizarro — *Catedrático de Ecología. Director del Instituto del Agua. Universidad de Granada*

Antonio Gallardo Correa — *Profesor de Ecología. Vicedecano de Ciencias Experimentales. Universidad Pablo de Olavide. Sevilla*

Francisco I. Pugnaire — *Investigador Científico del Consejo Superior de Investigaciones Científicas*

Roberto Lázaro — *Investigador Titular del Consejo Superior de Investigaciones Científicas*

Rocío Fernández Alés — *Profesora Titular. Facultad de Biología. Universidad de Sevilla*

Juan Carlos Linares Calderón — *Profesor Ayudante de Ecología. Universidad Pablo de Olavide. Sevilla*

José Antonio Carreira de la Fuente — *Profesor Titular de Ecología. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Jaén*

Juan Arroyo Marín — *Doctor en Biología. Catedrático. Universidad de Sevilla*

Francisco Rodríguez Sánchez — *Licenciado en Biología. Universidad de Sevilla*

Arndt Hampe — *Doctor en Biología. Investigador contratado (Ramón y Cajal). Estación Biológica de Doñana. Consejo Superior de Investigaciones Científicas*

Pedro Antonio Tíscar Oliver — *Ingeniero Técnico Forestal. Doctor en Biología. Profesor-Investigador. Centro de Capacitación y Experimentación Forestal. Junta de Andalucía*

Miguel Ángel Farfán Aguilar — *Licenciado en Ciencias Biológicas. Investigador integrante del Grupo de Biogeografía, Diversidad y Conservación. Universidad de Málaga*

Jesús Duarte Duarte — *Licenciado en Ciencias Biológicas. Investigador integrante del Grupo de Biogeografía, Diversidad y Conservación. Universidad de Málaga*

Directora de Edición

Mar Pérez Negreira

Fotografía e ilustración

Javier Andrada
José Bayo Valdivia
Félix Candenas
Manuel Cañas
Adolfo Cordero
Antonio Rodríquez Mariscal
José Manuel Salgado Mosquera
Xosé Varela Vilariño
Javier Alba-Tercedor
Juan Arroyo
José Antonio Carreira de la Fuente
Antonio Castillo Martín
Luis Cruz Pizarro
Rocío Fernández Alés
Antonio Gallardo Correa
Carlos M. García
Francisco Guerrero Ruiz
Arndt Hampe
Juan Carlos Linares Calderón
Juan Lucena
Ángel Martín
Secundino Muñoz Vilchez
José Manuel Poquet
Francisco I. Pugnaire
Ana Retamero Olmos
Francisco Rodríguez Sánchez
Pedro Sánchez-Castillo
Pedro Antonio Tíscar Oliver
Ángel Domínguez Gazpio
Ortografía Digital de Andalucía
Herbario Virtual del Mediterráneo Occidental. Universitat de Barcelona
Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía

Diseño, fotocomposición y maquetación

Grupo Hércules

Datos técnicos

Depósito legal: *C 2166-2004*

ISBN: *Proyecto Andalucía. Ecología. Obra completa: 978-84-933178-2-9*
Tomo XXX: Ecología III: 978-84-936736-2-8

Edita: *Publicaciones Comunitarias - Grupo Hércules*
C/ Radio Sevilla, n.º 7 41001 - Sevilla. Tel-Fax: 954 21 73 39
Dirección de internet: www.herculesediciones.es
e-mail: info@herculesediciones.es
andalucia@herculesediciones.es

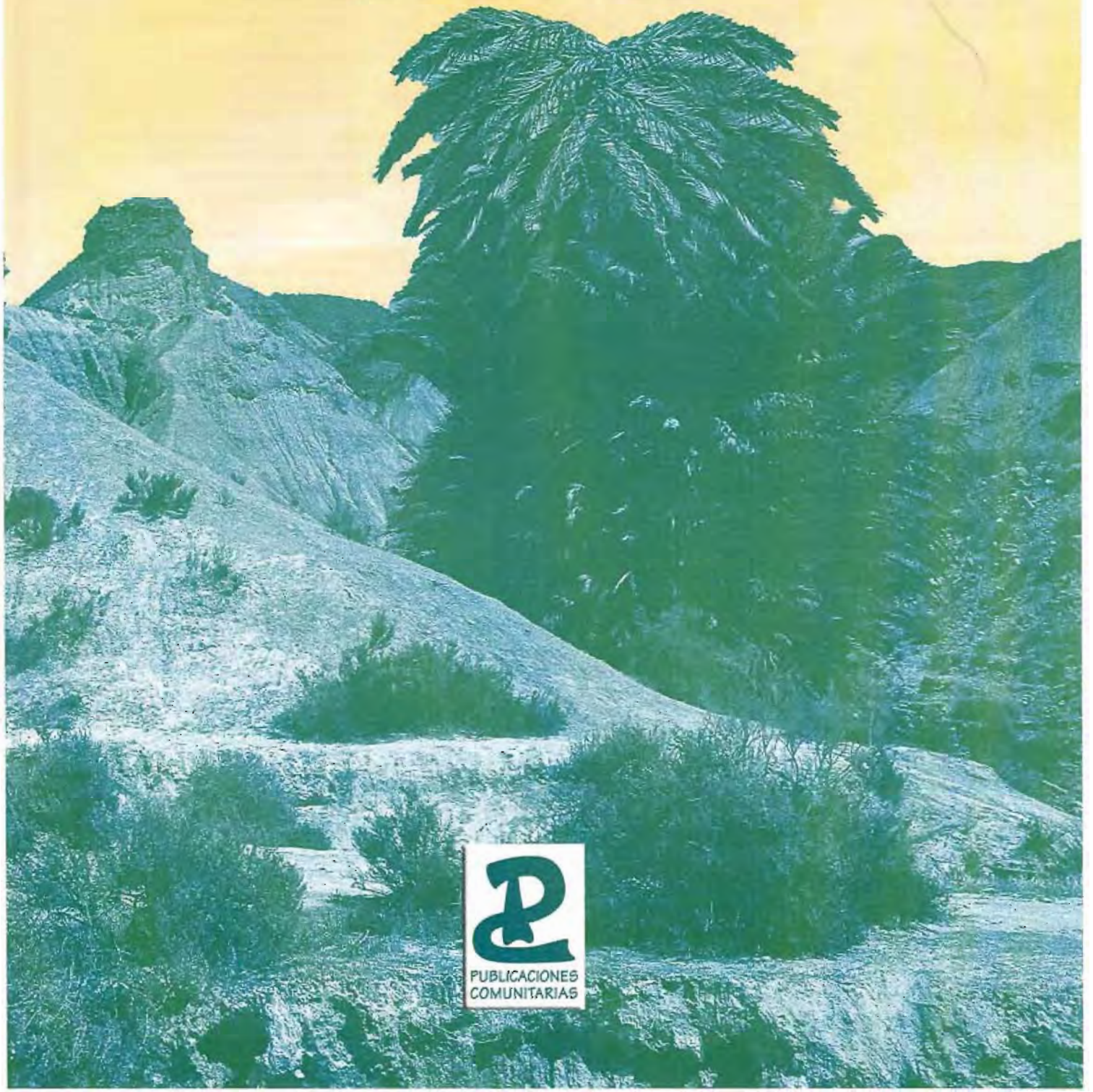
Copyright © Publicaciones Comunitarias. Reservados todos los derechos

Prohibida la reproducción, total o parcial, por cualquier medio o sistema de recuperación de información, electrónico, eléctrico, químico o mecánico, óptico, fotocopia, grabación, etc., salvo autorización expresa de la Editorial

PROYECTO ANDALUCÍA

Proyecto editorial creado y dirigido por

FRANCISCO RODRÍGUEZ IGLESIAS



PUBLICACIONES COMUNITARIAS