

Conceptos y técnicas en ecología fluvial

Edición a cargo de:

ARTURO ELOSEGI

Profesor titular de Ecología en la Universidad del País Vasco

SERGI SABATER

Catedrático de Ecología en la Universidad de Girona

Separata del capítulo 2

El río como ecosistema

SERGI SABATER

JHON CHARLES DONATO

ADONIS GIORGI

ARTURO ELOSEGI

Primera edición: abril 2009

ISBN: 978-84-96515-87-1

© los autores, 2009

© de la edición en español, Fundación BBVA, 2009

El río como ecosistema

SERGI SABATER, JHON CHARLES DONATO, ADONIS GIORGI Y ARTURO ELOSEGI

2.1. Introducción

El inglés Tansley acuñó en 1935 el concepto de *ecosistema*, que definió como la porción de naturaleza más pequeña capaz de mantener la vida. Sin embargo, hoy en día se utiliza este término de forma más laxa, para hacer referencia a cualquier parte de la biosfera, sin olvidar que el ecosistema está constituido por numerosos elementos, relacionados mediante una serie compleja de flujos de materia y energía, además de bucles interactivos. En la práctica, se utilizan dos criterios para definir el ámbito físico de los ecosistemas. Uno es puramente metodológico y define los límites del ecosistema en cuanto a métodos de trabajo. Así, se habla de ecosistemas acuáticos continentales, de ecosistemas marinos y de ecosistemas terrestres. El segundo criterio está basado en los flujos de materia. Según éste, los límites de los ecosistemas se establecen en función de las áreas que conforman sistemas más cerrados, es decir, que intercambian menos materia con el entorno. En este sentido, y refiriéndonos a los ecosistemas fluviales, el ecosistema sería el conjunto de la cuenca fluvial, ya que los cauces dependen en buena medida de los aportes de materia (agua, nutrientes, alimentos) de la cuenca. Si bien ésta es la aproximación más rigurosa, que nos recuerda que para entender lo que ocurre en el cauce hay que mirar a menudo lejos de él, también es cierto que las técnicas, el núcleo de este libro, son distintas en los ríos y en sus cuencas, y las aproximaciones son específicas. Por ello, la cuenca será un aspecto a tener en cuenta en algunas variables (como la química de las aguas), pero el cauce bastará para otros.

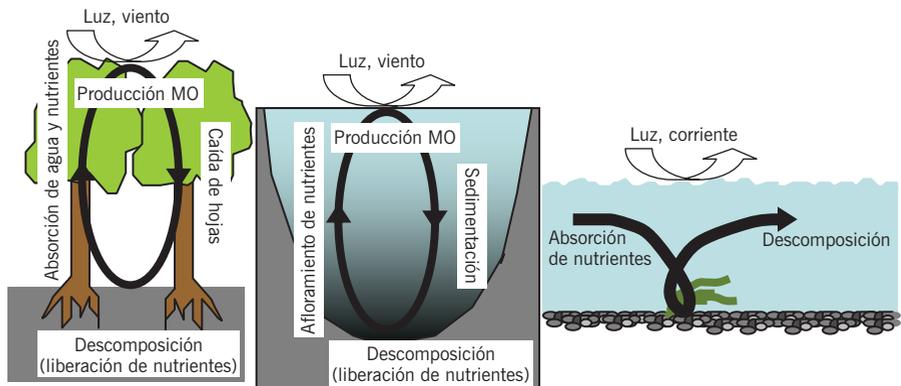
Los ecosistemas consisten en una comunidad de seres vivos y un entorno físico, mutuamente interdependientes

Los ecosistemas están constituidos por su componente abiótico y por la comunidad de seres vivos, que se adaptan a las características ambientales, pero también las modifican; como cuando los microbios consumen oxígeno hasta llevar algunos ríos a estados de anoxia, o los castores cambian de forma drástica la morfología y el funcionamiento fluvial. Los componentes bióticos y abióticos interactúan siguiendo patrones complejos. Por ejemplo, en algunos ríos, al reducirse el caudal disminuye la velocidad del agua y se favorece la colonización de macrófitas; éstas incrementan la sedimentación y reducen aún más la velocidad del agua llegando a modificar la morfología del cauce.

Además, los ecosistemas presentan un funcionamiento, que en su forma más simple se puede describir como un flujo de energía, proveniente en buena medida del sol, que empuja el reciclaje de materia, como el agua de un río empuja la rueda de un molino. Este esquema general es más literal de lo que parece (fig. 2.1) y funciona en todos los ecosistemas (Schlesinger 2000), aunque como veremos en los capítulos correspondientes, en los ríos el reciclado ocurre en espiral, según la materia va siendo arrastrada aguas abajo.

Todos los ecosistemas dependen para su funcionamiento de entradas de energía, especialmente energía lumínica, que las plantas y otros productores primarios utilizan para sintetizar materia orgánica a partir de nutrientes inorgánicos simples. La producción primaria es, por tanto, un paso clave del que depende el presupuesto energético de toda la comunidad biológica. La principal forma de producción primaria es la fotosíntesis, aunque hay otras vías (como la nitrificación o la oxidación de hierro reducido) que, en determinadas condiciones, pueden ser

Figura 2.1:
Esquema del funcionamiento ecológico de un bosque (izquierda), de un lago (centro) y de un río (derecha)



Nota: En todos los casos, los productores primarios utilizan nutrientes inorgánicos y luz para sintetizar materia orgánica. En el caso del lago y del bosque, ésta va acumulándose en el fondo hasta que es descompuesta, liberando nutrientes inorgánicos. La energía del viento y de la corriente remueve estos nutrientes en el lago, poniéndolos a disposición de los productores. En el caso del río, todo esto ocurre conforme la materia va siendo arrastrada aguas abajo.

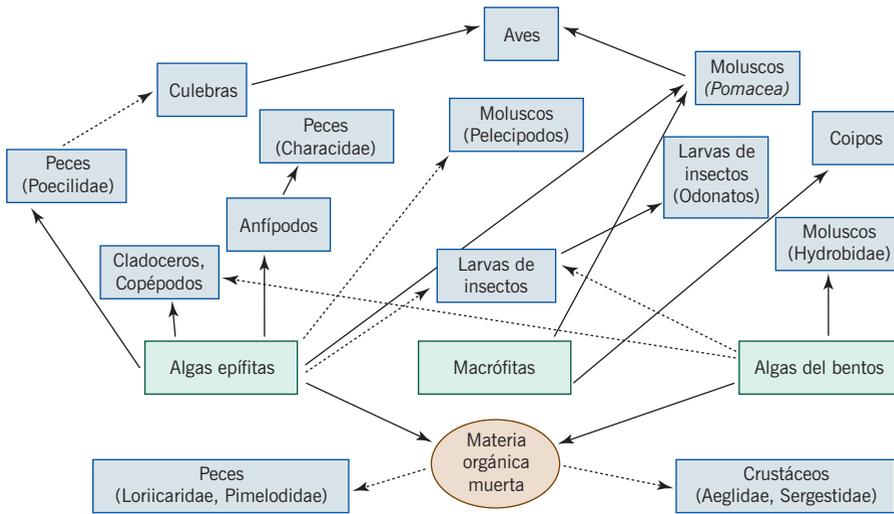


Figura 2.2:
Ejemplo de red trófica en un río pampeano, donde se muestra de un modo simplificado la complejidad de las interacciones tróficas

Fuente: Modificado de Giorgi et al. (2005).

importantes. La materia orgánica sintetizada por los productores es utilizada como fuente de alimento, es decir, fuente de materia y energía, por los heterótrofos: los animales consumidores y los microbios descomponedores. Aunque todos los heterótrofos funcionan de forma similar, los microbios suelen tener una tasa metabólica mucho más elevada, por lo que a menudo dominan la respiración de los ecosistemas, a pesar de su escasa visibilidad.

De esta manera, la energía acumulada por los productores en forma de materia orgánica va siendo utilizada por consumidores y descomponedores. La evolución ha producido innumerables tipos de heterótrofos, con unas dietas muy variadas, de forma que la energía se va canalizando a lo largo de complejas redes tróficas, de plantas a herbívoros, de herbívoros a carnívoros, de éstos a supercarnívoros, etc. A partir de un 100% de energía solar incidente los productores sólo fijan alrededor del 1%, y cada eslabón suele fijar tan sólo el 10% de la energía que recibe (fig. 2.2). Sin embargo, al depender los ríos en gran medida de los aportes externos de materia orgánica, los organismos que viven en ellos no tienen un control tan grande como los terrestres sobre sus fuentes de alimentación, lo que ha llevado a la proliferación de especies oportunistas, con unas dietas muy flexibles en función de la disponibilidad de alimentos.

La importancia de la energía que circula en forma de materia orgánica a través de las redes tróficas es evidente. Además, hay otro flujo de energía que tiene gran importancia, la energía auxiliar o exosomática, que favorece una elevada producción primaria aunque no sea directamente incorporada a materia orgánica. En el caso

de los ríos, la principal fuente de energía exosomática es la turbulencia asociada a la corriente del agua, que renueva constantemente el entorno de cada organismo, trayendo nuevos nutrientes y alimentos, y alejando desechos. Como resultado de esta turbulencia, por ejemplo, las algas de los ríos son capaces de crecer con concentraciones de nutrientes extremadamente bajas. La corriente, por tanto, es una de las características principales de los ecosistemas fluviales. Facilita la renovación de nutrientes, pero a la vez impone fuertes restricciones a los organismos, por lo que ha acabado modelando muchos de sus rasgos vitales.

Todos los ecosistemas cambian con el tiempo, conforme las especies se van sucediendo, y a distinta escala, por las perturbaciones ambientales que puedan acontecer. En los ríos, las perturbaciones más frecuentes suelen ser las riadas o avenidas, que arrastran gran parte de los organismos dejando zonas libres para los colonizadores. Las especies fluviales se han adaptado a estos entornos cambiantes, desarrollando mecanismos que favorecen la recolonización y facilitan una rápida recuperación de la comunidad tras la perturbación. Estos cambios sucesionales, similares a los producidos tras la quema de un bosque en un ecosistema terrestre, ocurren a gran velocidad en los ríos, pero están constreñidos por el hecho de que la colonización es mucho más fácil aguas abajo que aguas arriba. El medio fluvial es una red ramificada y alargada de cauces, y en la red de drenaje de cualquier río hay muchos arroyos de cabecera, bastantes menos tramos medios y muy pocos tramos bajos. Ello provoca un número distinto de cada tipo de hábitat fluvial. Además, la dinámica temporal de las comunidades depende de la conectividad de cada tramo a escala de paisaje; por ejemplo, la recuperación tras una perturbación depende de la extensión del tramo afectado, de la existencia o no de recolonizadores potenciales en las cercanías, y de la movilidad de los mismos a través de la red de drenaje.

2.2. El río, sistema dinámico y complejo

Los ríos son ecosistemas
muy dinámicos y
complejos

Los ríos son ecosistemas extremadamente complejos. Tienen numerosos componentes únicos, especialmente relacionados con la organización física en el eje horizontal (Vannote et al. 1980). Las características geológicas y el clima son los factores clave que explican las diferencias entre ríos de distintas latitudes y biomas. Densidad y tipo de vegetación, meteorización y desarrollo de los suelos, pendiente de la cuenca y caudal circulante son parámetros descriptivos de la cuenca que dependen de la geología y del clima (fig. 2.3). En cuanto al sistema fluvial en su sentido más estricto, el régimen de caudales, las diferencias en la química de las aguas y en las comunidades biológicas, así como el funcionamiento general del ecosistema, no pueden explicarse si no es a partir de las características litológicas y del clima (Allan y Castillo 2007).

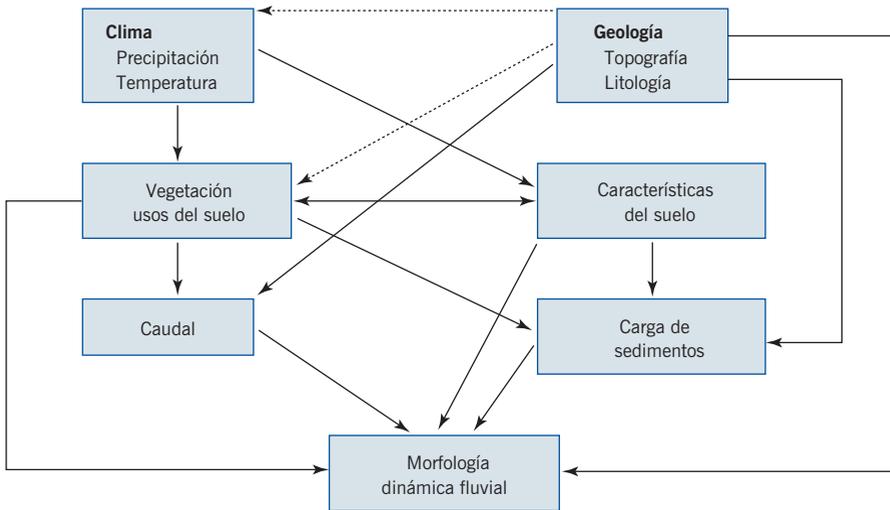


Figura 2.3:
Factores de la cuenca que determinan la morfología y dinámica del sistema fluvial

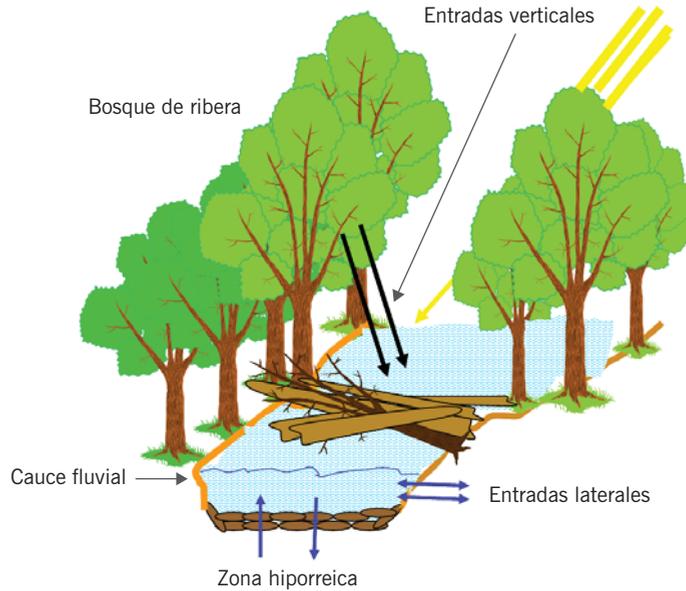
Fuente: Adaptado de Morisawa (1985).

Todo ello hace del río un sistema dinámico y complejo. Su complejidad es evidente si observamos su estructura hidrográfica, organizada jerárquicamente de forma que los afluentes confluyen sucesivamente para formar cauces más y más anchos. La estructura del ecosistema fluvial (el cauce, la zona de ribera, la llanura de inundación, la zona hiporreica; véase fig. 2.4) cambian en tamaño y complejidad como respuesta a la hidrología, que determina el trabajo cinético del agua y la distribución de los sustratos y materiales transportados. El dinamismo fluvial se expresa tanto en el espacio como en el tiempo. Especialmente, esta heterogeneidad marca la gran diferencia entre tramos de cabecera, y tramos medios y bajos, con una pendiente decreciente, mayor anchura, profundidad y caudal.

La gran heterogeneidad espacial de los ríos se corresponde con su elevado dinamismo temporal. Las variaciones de caudal determinan que las comunidades de organismos que habitan en época de aguas altas no sean las mismas que se encuentran en situaciones de aguas bajas. La llegada de materiales disueltos y particulados varía con el tiempo y con las variaciones hidrológicas y los cambios en el medio terrestre circundante, al igual como lo hace la disponibilidad de luz. La composición de la biota responde a la disponibilidad de materiales (materia orgánica y nutrientes disueltos) y de energía (luz, velocidad del agua), con lo cual varía tanto espacial como temporalmente.

La dinámica fluvial se expresa también en el transporte de las sustancias disueltas y particuladas. La carga disuelta proviene en su mayor parte del agua de lluvia y

Figura 2.4:
 Esquema de los
 compartimentos existentes
 en un río de cabecera e
 indicación de algunas de las
 principales interacciones
 entre ellos



de los iones que ésta disuelve del suelo o por meteorización química de la roca madre. La carga particulada corresponde a la erosión y transporte de sedimentos de la cuenca, y comprende materiales que varían en tamaño desde arcillas coloidales hasta rocas, y desde hojas hasta troncos. Las concentraciones de los solutos en los ríos cambian con el caudal y con el origen de las aguas que llegan al río. A medida que aumenta el caudal, las concentraciones disminuyen, puesto que una proporción cada vez mayor del agua proviene de la lluvia, que suele ser pobre en nutrientes.

Uno de los principales elementos del ecosistema fluvial es el *cauce*. A escala de tramo, el cauce suele presentar gran diversidad de formas, con rápidos y pozas, presas de materiales orgánicos, barras de sedimento, etc., que constituyen hábitats donde aparecen comunidades biológicas diferenciadas. Los organismos que viven en rápidos necesitan mecanismos de sujeción, disponen de elevadas concentraciones de oxígeno y los materiales (disueltos y particulados) son renovados de manera continua; los que viven en pozas lo hacen en un medio mucho menos turbulento, pero a menudo deben afrontar bajas concentraciones de oxígeno. El hábitat físico del cauce determina en buena parte el funcionamiento biológico fluvial.

Otro elemento esencial del ecosistema fluvial es la *zona de ribera* y la *llanura de inundación* (fig. 2.4), que suelen quedar cubiertas de agua en períodos de crecida. La vegetación de ribera es una interfase entre los ecosistemas terrestres vecinos, el agua freática y el cauce fluvial. La vegetación de ribera intercepta el paso de sedimentos y nutrientes disueltos. En particular, una franja de un metro de ancho

puede retener hasta el 30% de los nitratos, como consecuencia de su utilización por la vegetación terrestre y de la desnitrificación microbiana en el suelo. Además, la zona de ribera es un auténtico *corredor biológico* y una zona de *reserva* para la flora y la fauna en los ecosistemas terrestres vecinos, hasta el punto que más del 60% de las especies de todo el mundo viven en riberas fluviales. La tala, destrucción y modificación de la vegetación de ribera, reducen la calidad del hábitat fluvial y el funcionamiento del ecosistema, tales como el procesado de materia orgánica, la incorporación de nutrientes, la población de peces, etc.

Además del cauce y de las márgenes, los ecosistemas fluviales tienen un componente subterráneo que no se ve, pero que tiene gran importancia: el *hiporreos*, o río inferior. Efectivamente, buena parte del agua que transportan los ríos no discurre como agua superficial, sino entre los sedimentos (fig. 2.4), donde adquiere particulares características que difieren de las superficiales. En el hiporreos suele haber gradientes marcados en el estado de oxidación-reducción de las aguas, lo que posibilita que ocurran toda una serie de procesos biogeoquímicos acoplados, como la nitrificación, desnitrificación, mineralización de materiales orgánicos, etc. Estos procesos cobran gran importancia, por ejemplo, en la auto-depuración de las aguas, que es especialmente intensa en ríos con un hiporreos bien diferenciado y un hábitat físico complejo.

Tanto las riberas como la llanura de inundación son componentes esenciales de los ecosistemas fluviales

2.3. La biota de los ecosistemas fluviales

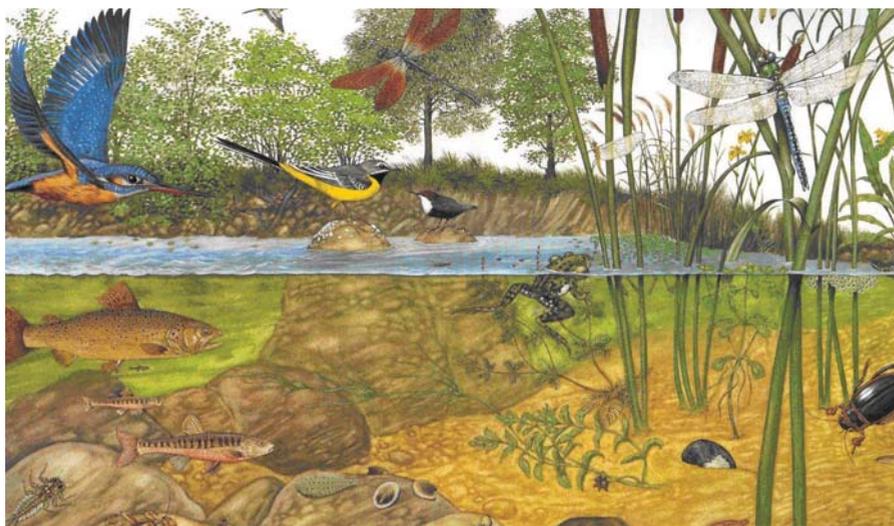


Figura 2.5:
Esquema de la biota típica en un río ibérico. Organismos de aguas rápidas (izquierda) y de aguas lentas (derecha)

Fuente: Ilustración de Ángel Domínguez Gazpio, publicada en *Ríos de Bizkaia* por la Diputación Foral de Bizkaia (2002). Reproducida con autorización.

2.3.1. MICROORGANISMOS: BACTERIAS, HONGOS Y ALGAS

Los microorganismos, planctónicos o bentónicos, tienen gran importancia en el funcionamiento de los ríos

Los microorganismos, fundamentalmente algas, bacterias, hongos y protozoos, son muy abundantes y de gran importancia en todo tipo de ríos. En pequeños arroyos forman el *biofilm*, un amalgamado complejo de organismos imbuidos en una matriz de mucílago, que recubre el lecho del río. En ríos más profundos y lentos se desarrolla una comunidad análoga en la columna de agua (*plancton*). Las comunidades microbianas tienen gran importancia en la dinámica de sustancias disueltas, tanto nutrientes inorgánicos como materia orgánica.

Las bacterias se encuentran tanto en la columna de agua como formando parte del biofilm. La biomasa bacteriana puede llegar a representar hasta un 10% de la biomasa microbiana del biofilm, pero es muy variable en función de los sustratos a los que se adhiere. En los ríos más lentos se desarrolla una comunidad planctónica bacteriana en íntima relación con las partículas que transporta el sistema. Los hongos acuáticos (en particular los hifomicetos) crecen preferiblemente sobre los sustratos orgánicos (hojas, ramas), pero también sobre sustratos inorgánicos del lecho del río. Estos organismos forman filamentos (hifas) y se reproducen mediante la producción de esporas. En ríos forestados, los hongos abundan especialmente cuando la hojarasca se deposita en el lecho, normalmente en otoño. Las bacterias y los hongos realizan la crucial función del reciclaje y reutilización del material orgánico que entra en el ecosistema, tanto el derivado de los productores primarios, como de la hojarasca, ramas y madera. Estos microorganismos sintetizan enzimas que son capaces de descomponer las moléculas orgánicas complejas y de gran tamaño, para así incorporarlas a su organismo como fuente de nutrientes. En general, los hongos tienen una mayor capacidad para la descomposición de material vegetal complejo como la celulosa y la lignina, mientras que las bacterias muestran una mayor capacidad para descomponer polisacáridos y péptidos.

Las algas son microorganismos capaces de realizar la fotosíntesis, usando para ello los nutrientes inorgánicos disueltos en el agua y la energía de la luz solar. La mayoría de sustratos inundados a los que llega la luz (sedimentos, arenas, cantos rodados e incluso plantas acuáticas) acaban recubiertos por una cubierta algal, generalmente de pequeño grosor y coloración variable según la composición mayoritaria de la comunidad. Las algas del biofilm, debido a su rápido crecimiento y ubicuidad, son las principales responsables de la producción primaria en ríos poco profundos. En cuanto a los sistemas fluviales tropicales, la composición y dinámica de los productores primarios suele venir controlada por las variaciones en el caudal (fig. 2.6).

Los productores primarios suspendidos en la columna de agua constituyen el *fitoplancton*. Incluyen algas, protozoos y cianobacterias. La contribución del fito-

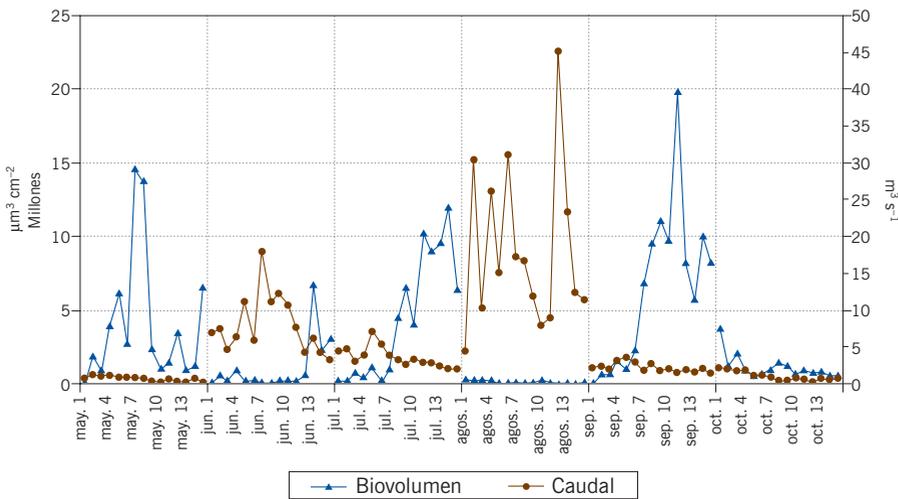


Figura 2.6: Variaciones diarias y mensuales en el biovolumen de la comunidad de diatomeas bentónicas de un río tropical andino y su respuesta al caudal

Fuente: Castellanos y Donato (2008).

plancton a la producción primaria adquiere un papel predominante en los tramos bajos de los ríos, donde la disponibilidad de nutrientes, luz, baja pendiente y velocidad reducida favorecen su crecimiento. Sin embargo, en cursos fluviales altos, el agua discurre excesivamente rápida para permitir el desarrollo de organismos planctónicos.

2.3.2. PRODUCTORES PRIMARIOS DE MAYORES DIMENSIONES: MACRÓFITOS

Con la denominación de *macrófitos* se incluyen algas de grandes dimensiones como los filamentos de *Cladophora*, plantas vasculares como el lirio de agua, líquenes acuáticos, musgos y hepáticas. Las plantas vasculares se desarrollan en aguas poco turbulentas, ya que necesitan sustratos blandos en los que enraizar. Se encuentran macrófitos en pequeños ríos, tramos medios de grandes cursos de agua, y en las márgenes y zonas estancadas de las partes bajas. Los musgos tienen una distribución mucho más restringida, limitada a climas fríos y tramos sombríos de cabecera. Muy a menudo, las comunidades de macrófitos constituyen auténticas áreas de refugio para organismos de pequeñas dimensiones, ya que proporcionan un hábitat estable y protegido. Algunos, simplemente quedan adheridos a sus paredes (epífitos), mientras que otros se desarrollan al amparo de la masa macrofítica. Los macrófitos, por sus dimensiones y estructura, son capaces de interceptar y cambiar las condiciones locales de flujo, con lo que modifican las condiciones del hábitat fluvial. En condiciones adecuadas de iluminación puede desarrollarse gran diversidad de plantas vasculares, algunas sumergidas, otras emergentes y aun otras flotantes.

En aguas lentas los macrófitos estructuran el hábitat fluvial

2.3.3. INVERTEBRADOS

Los invertebrados constituyen uno de los grupos de organismos fluviales más diversos. Se distinguen dos categorías, en función del tamaño: meiofauna y macroinvertebrados

Los invertebrados fluviales se agrupan por conveniencia en dos categorías, en función de su tamaño: meiofauna y macroinvertebrados. La *meiofauna* es un componente poco conocido en el que abundan algunos crustáceos, rotíferos, tardígrados y estadios menores de organismos superficiales. Tiene un relevante papel en el procesamiento del material fino y de los sedimentos. Los *macroinvertebrados* son los principales consumidores de materia orgánica particulada. Se trata de uno de los grupos más diversos y mejor estudiados de los sistemas acuáticos que aparecen en gran abundancia en todo tipo de ríos. Desde la cabecera hasta la desembocadura, los cambios en el río ofrecen múltiples hábitats a los invertebrados. A pequeña escala, la secuencia de rápidos y remansos ofrece un complejo de espacios que acogen a muy diversos grupos biológicos como crustáceos (anfípodos y cangrejos), moluscos (caracoles y bivalvos) y larvas de insectos (dípteros, hemípteros, homópteros y coléopteros). Los lechos cubiertos de gravas, cantos rodados y piedras albergan la mayor variedad de grupos. En cambio, las áreas donde se acumulan partículas de menor tamaño (arenas, limos) son poco estables y la difusión de oxígeno es más limitada. Otras especies viven y se alimentan de la madera en descomposición, especialmente en las cabeceras de ríos forestados. Los musgos y los macrófitos pueden ser también un buen sustrato en el cual vivir, tanto en su superficie como en su interior, excavando pequeñas galerías.

Esta diversidad, en cuanto a ocupación de espacios, concuerda con las variadas estrategias de aprovechamiento de los recursos. Los macroinvertebrados responden a diferentes estrategias alimentarias. Pueden alimentarse de detritus orgánicos como hojarasca, de biofilm que crece sobre las piedras, así como de otros animales. La disponibilidad de alimentos depende del tamaño del río, del tipo de sustrato o de la existencia del bosque de ribera. En los ríos bien iluminados proliferan los productores primarios y, en consecuencia, abundan los ramoneadores. En arroyos forestados, la hojarasca puede ser la principal fuente de alimento. Las hojas que caen al río se colonizan de microorganismos (bacterias y hongos especialmente), que aumentan el valor nutritivo de éstas. Esos materiales son consumidos por invertebrados fragmentadores como crustáceos o insectos, de manera sucesiva hasta casi su completa eliminación.

2.3.4. PECES

Por su papel como consumidores, los peces tienen gran influencia en las redes alimentarias

Los peces son organismos altamente diversificados. Hay especies alguívoras (consumen algas), detritívoras (consumen materia orgánica como hojarasca), insectívoras (consumen insectos), planctófagas (consumen plancton) y piscívoras (consumen otros peces), por citar algunas de las estrategias tróficas más comunes. En grandes ríos tropicales incluso hay especies frugívoras, que explotan el bosque de

ribera en época de inundación. Los peces ocupan desde la columna de agua hasta el fondo de los sistemas, pescan al acecho o contracorriente... Esta gran diversidad les capacita para ocupar múltiples espacios. La presencia y abundancia de peces, e incluso su tamaño (el pez mayor consume más y más activamente), puede causar importantes efectos sobre otros niveles tróficos, y finalmente sobre el funcionamiento del ecosistema. Por ejemplo, la existencia de peces insectívoros que depreden sobre libélulas u otras larvas de insectos grandes favorece el crecimiento de macroinvertebrados de menor tamaño que, al ser más abundantes, inciden más acusadamente sobre los productores primarios del sistema. Se trata de lo que se denomina *cascada trófica*, es decir, el efecto encadenado que producen unos niveles tróficos sobre otros. En este caso, el control se ejerce de arriba hacia abajo (*top-down*), y los peces son los que más incidencia pueden tener. Algunos efectos son poco conocidos, aunque revistan gran relevancia. En un reciente experimento en un sistema tropical, se ha descrito que la retirada de peces detritívoros causó el decremento de la materia orgánica transportada río abajo, así como el incremento de la producción primaria y de la respiración.

Los peces son muy sensibles a las perturbaciones. La detración de caudales compromete la supervivencia de muchas especies, ya que favorece el incremento de la concentración de nutrientes, el calentamiento de las aguas y las oscilaciones de oxígeno asociadas a crecimientos de productores primarios. La simplificación de los hábitats también redundará en su perjuicio, ya que numerosas especies requieren zonas de refugio, zonas de freza y otras áreas diferenciadas de alimentación. La simplificación de la zona litoral, la eliminación de meandros o de lagunas conectadas hidrológicamente con los cauces principales, etc., causan el empobrecimiento de la comunidad piscícola. Finalmente, la interconexión de cuencas favorece el que las especies más resistentes prosperen y las más especializadas (muchas de ellas endémicas) sean arrinconadas y lleguen a desaparecer.

2.4. Ensamblar los componentes: funcionamiento de los ecosistemas fluviales

Los componentes físicos, químicos, hidrológicos y biológicos antes descritos se ensamblan a muy diversas escalas, y las interacciones entre componentes regulan el funcionamiento del ecosistema fluvial, que puede ser muy complejo. Los recursos alimentarios cambian con el tipo de río, pero también a lo largo del año, y con eventos más o menos impredecibles como las riadas. La comunidad biótica responde a esos cambios, proliferando las especies cuyos recursos son más abundantes en un momento determinado y, en consecuencia, reduciendo la disponibilidad de esos recursos. Sin embargo, las poblaciones no pueden cambiar tan rápido como sus recursos, dadas las limitaciones impuestas por el ciclo de vida de

muchos organismos, por lo que a menudo la comunidad refleja más el pasado reciente que las condiciones presentes en un río. A modo de ejemplo, los arroyos bajo bosque caducifolio reciben una gran cantidad de hojarasca en otoño, lo que favorece a la comunidad biológica descomponedora (bacterias, hongos) y detritívora (meiofauna y macrofauna), a no ser que el otoño sea muy lluvioso y el río arrastre la hojarasca aguas abajo. En esta época, además, la ausencia de hojas en los árboles permite una mayor insolación, lo que favorece a los productores primarios. Si el caudal se mantiene bajo, las interacciones entre especies determinarán en buena medida la composición de la comunidad, mientras que si hay riadas frecuentes, la comunidad estará dominada por las especies con mayor capacidad de recolonización, importando menos sus preferencias alimentarias. Así, pues, distintos tramos del río, en distintas épocas del año, o en años distintos, pueden tener una dinámica muy diferente.

Aunque el funcionamiento de los ecosistemas fluviales puede ser extremadamente complejo, hay formas sencillas de estudiarlo, como por ejemplo, midiendo el metabolismo

Una de las formas más sencillas de evaluar de forma integral el funcionamiento de un ecosistema es midiendo su metabolismo. Se denomina *metabolismo fluvial* a la expresión conjunta en términos de balance de oxígeno, de carbono o de biomasa, de distintos compartimentos (biofilm, consumidores, etc.) o del conjunto del ecosistema. Éste se puede estimar mediante cámaras de incubación en las que se mide la variación de oxígeno o de carbono, y hay también métodos que permiten estimar el metabolismo en todo un tramo fluvial, aunque requieren asunciones y aproximaciones más complejas.

El análisis de las *interacciones tróficas* se basa en el estudio de los tractos intestinales en animales y, más recientemente, el uso de los isótopos estables como trazadores. Estas aproximaciones permiten estudiar la dinámica trófica del sistema y determinar las tasas de transferencia entre los distintos componentes. Para tal fin se deben determinar las variaciones isotópicas de los isótopos estables (por ejemplo, ^{13}C frente a ^{12}C) en los distintos compartimentos de la red trófica (biofilm, meiofauna, macroinvertebrados) y en los materiales particulados (hojarasca, ramas, material fino) que caracterizan el tramo fluvial.

Los ríos deben estudiarse considerando una perspectiva de cuatro dimensiones, en la que a la dimensión longitudinal (desde las cabeceras hasta la desembocadura) deben sumársele los movimientos laterales y verticales de agua, materiales, energía y organismos, y la dimensión temporal, resultante de los cambios ambientales, estacionales o no. En el eje fluvial se produce una sucesión continua de cambios desde la cabecera hacia la desembocadura, como hemos descrito anteriormente. La mayor cantidad de materia orgánica proveniente de la ribera en zonas de cabecera favorece la presencia de organismos fragmentadores y el predominio de procesos heterotróficos. A medida que el orden del río aumenta se reduce el material aportado desde la ribera y aumenta la disponibilidad de luz, lo

que posibilita una mayor cantidad de productores y un predominio de los ramoneadores. En estos tramos los procesos autotróficos pueden ser tan intensos o más que los heterotróficos. A estas tendencias halladas en el eje fluvial hay que sumarles las que ocurren en el eje horizontal (llanura aluvial) y el vertical (hiporreos), especialmente en ríos con llanuras aluviales y una zona hiporreica bien desarrollada. En grandes ríos de llanuras aluviales, el pulso de inundación determina que en determinadas épocas las especies acuáticas exploten los recursos acumulados durante meses en las llanuras de inundación. Esto incide en la dinámica, en la productividad y en la diversidad que soporta la zona de transición acuática-terrestre (Junk et al. 1989). Los ríos de orden menor también son importantes en el aporte de carbono a la llanura aluvial (Thorp y Delong 1994).

2.5. Los problemas que afrontan los sistemas acuáticos continentales

Los ecosistemas fluviales se ven afectados por numerosas perturbaciones naturales, tanto hidrológicas (sequías, avenidas) como físicas (aludes, fuegos), respondiendo con un marcado dinamismo (Margalef 1983). Sin embargo, algunas perturbaciones, sobre todo de origen humano, son permanentes y acaban afectando de manera irreversible a los ecosistemas fluviales. Earle B. Phelps, un ingeniero dedicado al saneamiento de los ríos, sostenía en 1944: «Un río es algo más que un accidente geográfico, una línea en un mapa, o una parte fija del terreno. No puede considerársele solamente desde el punto de vista geológico y topográfico. Un río es algo con vida propia, con energía, con movimiento. Algo cambiante».

Muchos ríos están regulados mediante embalses para hacer posible el consumo doméstico, agrícola e industrial, para generar energía hidroeléctrica y para laminar inundaciones. Actualmente un 15% de los caudales mundiales se retiene en 45 000 grandes embalses y un 52% de la superficie de los grandes ríos está modificada por canales, represas, etc. En la península Ibérica existen más de mil grandes embalses, trescientos de los cuales tienen capacidad de más de 10 hm³ (Sabater et al. 2008). Ríos de la cuenca mediterránea como el Júcar y el Segura llegan completamente secos al mar. En ríos americanos se han citado fenómenos de incremento del material transportado, que producen una rápida colmatación de embalses. Los efectos del cambio climático (aumento de temperatura e irregularidad de precipitaciones; IPCC 2007) reforzarán, sin duda, la presión para construir embalses.

La mayor parte de los ríos del mundo están afectados por actividades humanas como embalses, cambios morfológicos, contaminación, o especies exóticas

Las presas de los embalses rompen la conectividad longitudinal del río, forman barreras para el movimiento de los peces e impiden la migración de especies como los salmónidos. Con ello se producen importantes pérdidas económicas en

biodiversidad, y sufren muchas culturas nativas y regionales. Además, los embalses afectan al régimen térmico y la calidad del agua en el río. La mayoría de las presas desembalsan agua del fondo del embalse, que en verano es más fría y en invierno más caliente que el agua del río, con lo que se reduce la amplitud de los cambios de temperatura diarios y estacionales. Las especies vegetales y animales que viven aguas abajo del embalse, adaptadas como estaban al régimen térmico natural, ven afectada su supervivencia, desarrollo y reproducción. Por si eso fuera poco, el agua de fondo del embalse a menudo tiene poco oxígeno y muchos metales y fósforo, lo que contribuye al estrés químico.

A estas alteraciones hidrológicas hay que añadirles el impacto de actividades agropecuarias, o de la eliminación de zonas de humedales y meandros a favor del desarrollo de nuevas áreas cultivables y urbanizaciones. El exceso de nutrientes o la continua aparición de productos químicos pueden causar efectos perniciosos en el ecosistema fluvial, ya que muchos organismos fluviales se encuentran adaptados a bajas concentraciones de nutrientes (a un *óptimo de pobreza*). El exceso de nutrientes produce un fenómeno bien conocido que se denomina *eutrofización*. En estas condiciones, el río disminuye la eficiencia en la captación de nutrientes, se satura y pierde gran parte de su capacidad de autodepuración. En estos sistemas, aumenta la biomasa de algas y macrófitos, y los niveles nocturnos de oxígeno caen, a menudo, hasta valores letales para peces y otros animales. El impacto que causan los nutrientes también está relacionado con sus proporciones relativas.

Además de los nutrientes, los ríos reciben una enorme cantidad de sustancias de naturaleza muy variada, incluyendo compuestos de elevada toxicidad y persistencia. Entre éstos se cuentan pesticidas, disolventes, derivados de los hidrocarburos, fenoles o metales pesados. Todos estos compuestos causan impactos en los ecosistemas fluviales, máxime cuando se bioacumulan a través de la red alimentaria. Los residuos agrícolas y ganaderos (fertilizantes, pesticidas) habitualmente llegan a los ríos de manera difusa, mientras que las aguas residuales urbanas e industriales generalmente se producen de forma puntual, es decir, a través de colectores.

Todas estas afecciones comprometen la salud de los ríos, reduciendo la biodiversidad de los organismos que en ellos habitan. Entre los más afectados se encuentran los peces, de los que se considera que existen 35 000 especies, y se describen cien nuevas especies cada año. Otros vertebrados como anfibios, reptiles y aves se relacionan con lagunas, humedales y ríos, principalmente en períodos de nidificación y cría. Muchos de los hábitats utilizados para estas funciones han desaparecido por los cambios producidos en la ribera y llanura aluvial, y por el dragado de los cursos de agua. Esto ha producido una gran fragmentación de hábitats y una dramática reducción de las zonas de reproducción de muchas especies. Efectos semejantes se han citado para la fauna de invertebrados, sin duda más diver-

sa que la de peces, ya que se le supone, al menos, un orden de magnitud mayor. La mayoría de los estudios sólo examinan los invertebrados más abundantes, aunque en un estudio realizado en un pequeño arroyo de Alemania se encontraron más de mil especies de invertebrados. En cuanto a las algas microscópicas, el número de especies en algunos ríos llega hasta el medio millar. Otros organismos microscópicos, como los integrantes de la meiofauna, suelen ser muy diversos pero poco estudiados.

2.6. Bibliografía

- ALLAN J.D., y CASTILLO M.A. *Stream ecology: Structure and function of running waters*. Dordrecht: Springer, 2007.
- CASTELLANOS L., y DONATO J. «Biovolumen y sucesión de diatomeas en un río andino (río Tota, Boyacá, Colombia)». En J. Donato, ed. *Ecología de un río de montaña de los Andes colombianos*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2008.
- GIORGI A., FEIJÓO C., y TELL G. «Primary producers in a Pampean stream: Temporal variation and structuring role». *Biodiversity and Conservation* 14 (2005): 1699-1718.
- IPCC. *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Working group II. Fourth assessment report*: UNEP, 2007.
- JUNK W.J., BAYLEY P.B., y SPARKS R.E. «The flood pulse concept in river-floodplain systems». *Dodge DP Can Spec Public Fish Aquatic Sci* 106 (1989): 110-127.
- MARGALEF R. *Limnología*. Barcelona: Omega, 1983.
- MORISAWA M.E. *Rivers. Form and processes*. Londres: Longman, 1985.
- SABATER S., FEIO M.J., GRAÇA M.A.S., MUÑOZ I., y ROMANÍ A. «The Iberian rivers». En K. Tockner, C. Robinson, y U. Uhlinger, eds. *Rivers of Europe*. Amsterdam: Elsevier, 2008.
- SCHLESINGER W.H. *Biogeochemistry. An analysis of global change*. San Diego: Academic Press, 1997.
- THORP J.H., y DELONG M.D. «The riverine productivity model». *Oikos* 70 (1994): 305-306.
- VANNOTE R.L., MINSHALL G.W., CUMMINS K.W., SEDELL J.R., y CUSHING C.E. «The river continuum concept». *Can J Fish Aquat Sci* 37 (1980): 130-137.