

MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO INDICADORES BIOLÓGICOS: UNA HERRAMIENTA DIDÁCTICA

Rubén Ladrera^{1,2}, María Rieradevall² y Narcís Prat²

¹IES Tierra Estella-Lizarralde BHI
rubenladreraf@hotmail.com

²Grupo de Investigación FEM (Freshwater Ecology and Management)
Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona
mrieradevall@ub.edu; nprat@ub.edu

Resumen

En los últimos años se han realizado diversas adaptaciones sobre la utilización de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua en ríos, tanto para su uso por grupos de voluntarios como en las distintas etapas de la educación obligatoria. En este trabajo, después de repasar algunos conceptos básicos sobre macroinvertebrados, indicadores biológicos y gestión de los ecosistemas acuáticos, se describen los principales materiales y programas existentes al respecto en la Península Ibérica y se proponen una serie de ideas que faciliten y mejoren la utilización de esta herramienta didáctica en las aulas.

Palabras clave: Agua, macroinvertebrados acuáticos, indicadores biológicos, herramienta didáctica, educación secundaria.

Laburpena

Azken urteotan uretako makroornogabeen komunitateak ibaien uretako kalitatearen adierazle biologiko gisa erabiltzearen inguruko hainbat moldaketa egin da, bai boluntario taldeek baita derrigorrezko hezkuntzako etapa guztietan erabiltzeko ere. Lan honetan, makroornogabeen oinarritzko kontzeptu batzuk, biologia adierazleak eta uretako ekosistemen kudeaketa berrikusi ondoren, honen inguruan Iberiar Penintsulan dauden materialak eta programak deskribatzen dira eta gelan tresna didaktiko honen erabilera erraztu eta hobetzen duten ideiak proposatzen dira.

Gako-hitzak: Ura, uretako makroornogabeak, adierazle biologikoak, tresna didaktikoa, bigarren hezkuntza.

Para citar este artículo / Artikulu honen erreferentzia egiteko:

Ladrera, R., Rieradevall, M. & Prat, N. (2013). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos: una herramienta didáctica. *Ikastorratza. e-Revista de Didáctica* 11, retrieved 2013/12/20 from http://www.ehu.es/ikastorratza/11_alea/macro.pdf (ISSN: 1988-5911).

1. Introducción

Los ríos representan un componente esencial de nuestro patrimonio natural y cultural. Sin embargo, han sufrido un importante deterioro ecológico desde mediados del siglo pasado, debido fundamentalmente a la regulación de los caudales, los encauzamientos, la ocupación de las riberas, la agricultura, la industria y la urbanización (González del Tánago & García de Jalón, 2007). Como resultado de este deterioro, el 80 por ciento de la población mundial se encuentra actualmente afectada por la degradación de los ríos (Vörösmarty *et al.*, 2010).

Para poder mejorar en el futuro la calidad de las aguas y la conservación de los ecosistemas fluviales, la educación debe jugar un papel fundamental y es muy necesario fomentar entre nuestro alumnado conocimientos y valores relacionadas con la conservación, mejora y uso sostenible del agua dulce (Rueda & López, 2003). En este sentido, la Ley Orgánica de Educación (LOE 2/2006) señala como uno de los objetivos de la Educación Secundaria “Valorar los hábitos sociales relacionados con la salud, el consumo, el cuidado de los seres vivos y el medio ambiente, contribuyendo a su conservación y mejora”.

Para atajar el deterioro ecológico de los ecosistemas fluviales que hemos sufrido en los últimos años y que seguimos sufriendo, resulta fundamental introducir materiales que sirvan para formar a la ciudadanía en general, y al alumnado de secundaria en particular, en el conocimiento de los ríos y los efectos de su degradación. El alumnado debe ser formado en esta área de conocimiento como futuros responsables que pueden llegar a ser de la gestión y conservación del medio, pero, sobre todo, como ciudadanos que van a interactuar con él. Por su parte, un aspecto importante e interesante de la introducción del estudio de los ecosistemas fluviales en el aula es que permite la adquisición de conocimientos científicos básicos y la reflexión sobre cómo nuestras acciones diarias y la gestión del recurso afectan a la conservación de los espacios naturales. Este estudio favorece la realización de actividades de tipología variada que abordan aspectos distintos del currículum de secundaria tanto en el ámbito de las ciencias experimentales como de las sociales. Cabe destacar, además, que la educación secundaria suele suponer para la mayoría del alumnado la última oportunidad de tratar dentro de las aulas este tipo de problemática ambiental, ya que, según la elección que hagan de sus estudios superiores, estos temas ya no se van a tratar nunca más.

Dentro del estudio de los ecosistemas fluviales, el uso de los macroinvertebrados como indicadores biológicos es una buena oportunidad y una buena herramienta para abordar estos temas y para sensibilizar a los ciudadanos y escolares, así como para conocer los ríos de una forma integrada y de hacer una diagnosis de la calidad de los ríos que tienen a su alcance.

2. ¿Que son los macroinvertebrados acuáticos?

Se denominan macroinvertebrados acuáticos aquellos invertebrados acuáticos con un tamaño superior a 500 μm , entre los que se incluyen animales como esponjas, planarias, sanguijuelas, oligoquetos, moluscos o crustáceos, como los cangrejos, los cuales desarrollan todo su ciclo de vida en el agua (Tabla 1, Fig. 1). Uno de los grupos de macroinvertebrados acuáticos más ampliamente distribuido en las aguas dulces es el de los insectos. ¿Puede vivir un insecto adulto con sus alas en el agua? Los adultos habitualmente no viven en el agua (excepto en algunos casos), pero los estados inmaduros (huevos y larvas) sí que son acuáticos en muchos grupos de insectos. En estos casos, los adultos salen del agua y completan su desarrollo en el medio aéreo, que suele durar pocas horas o días frente a los muchos meses que pasan en el agua. Evidentemente, para pasar de inmaduro acuático a adulto terrestre se necesitan adaptaciones muy importantes y diversos órdenes de insectos están formados por familias con larvas exclusivamente acuáticas, como los efemerópteros, plecópteros, odonatos o tricópteros. En otros órdenes de insectos, como hemípteros, coleópteros, o dípteros, hay familias con larvas exclusivamente acuáticas, otras solo con larvas terrestres y algunas con ambas adaptaciones.

Los macroinvertebrados tienen una especial importancia en los ecosistemas acuáticos, al constituir el componente de biomasa animal más importante en muchos tramos de ríos y jugar un papel fundamental en la transferencia de energía desde los recursos basales hacia los consumidores superiores de las redes tróficas. Es decir, a nivel de grupo, los macroinvertebrados acuáticos van a consumir la materia orgánica fabricada en el río por los organismos fotosintéticos, como algas o briófitos, y la materia orgánica procedente del ecosistema terrestre, fundamentalmente del bosque de ribera, y la van a transferir a los grandes vertebrados del ecosistema, representando la principal fuente de alimento de éstos, de manera que la alteración de la comunidad de macroinvertebrados de los

ecosistemas fluviales va a afectar directamente a animales como peces, aves acuáticas o mamíferos semiacuáticos.

Tabla 1. Principales grupos de macroinvertebrados acuáticos presentes en los ecosistemas fluviales.

Filo	Subfilo	Clase	Orden	Observaciones	
Porifera				Comprenden las esponjas, que viven fijas al sustrato.	
Cnidaria				Incluye a las hidras, que son pequeños pólipos de agua dulce.	
Platelminta				Se incluyen las planarias.	
Nematoda				Gusanos redondos con cuerpo sin anillar.	
Annelida		Oligochaeta		Gusanos anillados con sedas en los segmentos.	
		Hirudinea		Gusanos anillados con cuerpo aplanado y ventosas. Son las sanguijuelas.	
Mollusca	Conchifera	Gastropoda		Moluscos con una concha.	
		Bivalvia		Moluscos con dos conchas.	
Arthropoda	Chelicerata	Arachnida		Son arañas microscópicas que viven en aguas dulces.	
	Crustacea	Malacostraca	Amphipoda	Se incluyen las gambas de agua, muy abundantes en algunos tramos fluviales.	
			Decapoda	Son los cangrejos.	
	Hexapoda	Insecta	Ephemeroptera		La vida del adulto es muy efímera, de donde se deriva su nombre, llegando a vivir pocas horas o incluso minutos.
			Odonata		Son las larvas de las libélulas. Son voraces depredadores.
			Plecoptera		Se trata de especies que viven en el fondo de cauces de aguas frías, bien oxigenadas y libres de contaminación.
			Hemiptera		Incluyen a los conocidos zapateros.
			Coleoptera		Pueden vivir en el agua en su fase larvaria, adulta o ambas.
			Trichoptera		Numerosos de ellos fabrican los conocidos estuches o canutillos, con diferentes materiales como granos de arena o vegetales.
	Diptera			En este orden se incluyen las larvas de mosquitos y tábanos.	

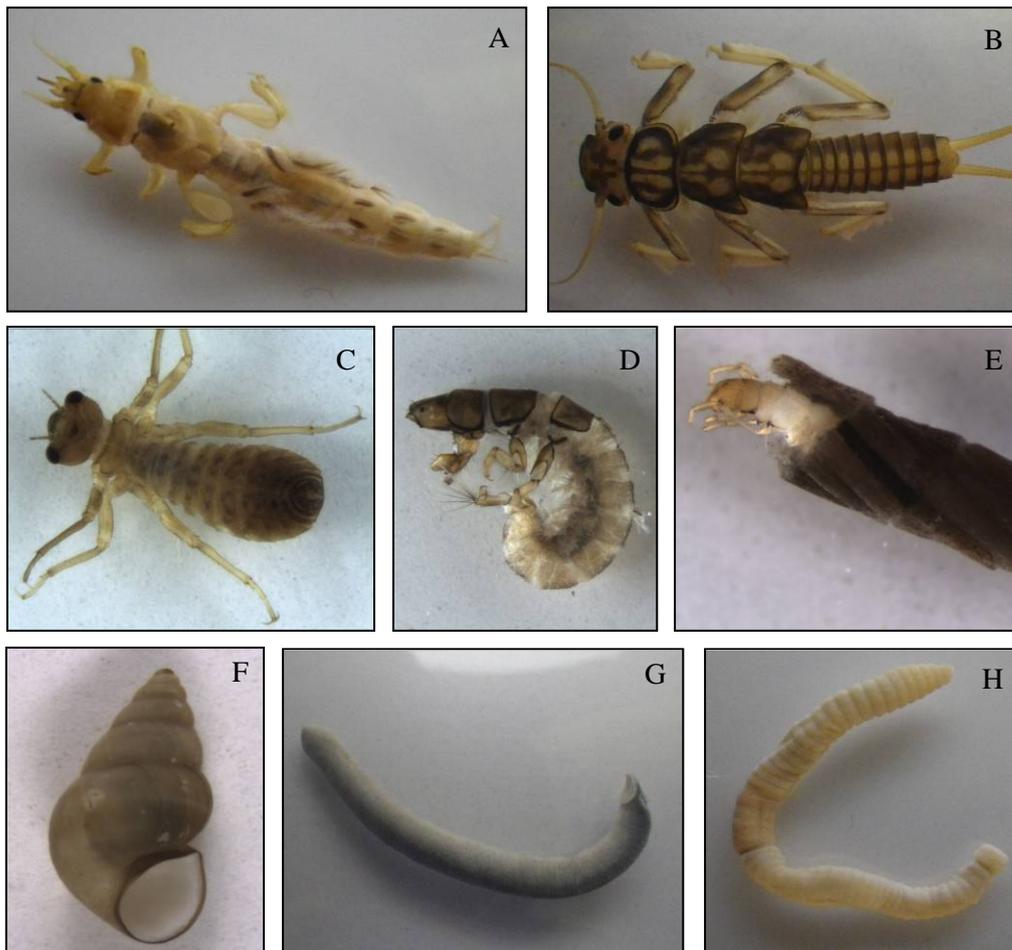


Figura 1. Imágenes de diversos macroinvertebrados acuáticos. A: Fam. Ephemeriidae (Orden Ephemeroptera, Clase Insecta); B: Fam. Perlidae (Orden Plecoptera, Clase Insecta); C: Fam. Cordulegastriidae (Orden Odonata, Clase Insecta); D: Fam. Hydropsychidae (Orden Trichoptera, Clase Insecta); E: Fam. Leptoceridae (Orden Trichoptera, Clase Insecta); F: Fam. Hydrobiidae (Clase Gastropoda); G: Fam. Erpobdellidae (Clase Hirudinea); H: Clase Oligochaeta..

3. El concepto de bioindicador y por qué los macroinvertebrados son buenos bioindicadores

Unos de los aspectos más relevantes en el estudio de los macroinvertebrados acuáticos resulta su utilización como bioindicadores o indicadores biológicos. ¿Qué es un bioindicador? Es un organismo, acuático en este caso, que por su mera presencia o mayor o menor abundancia nos indica alguna condición del ecosistema acuático, como el grado de contaminación. Nosotros utilizaremos los macroinvertebrados para estudiar la calidad del agua. ¿Qué ventaja tiene utilizar uno u otro organismo como bioindicador? ¿No sería mejor medir algún parámetro físico-químico del agua? Los organismos, por el hecho de vivir en el agua durante varios días o meses, integran los cambios que se producen de todos los parámetros fisicoquímicos, mientras que una

medida puntual de un parámetro fisicoquímico (el pH por ejemplo) no nos dice nada de lo que pasó anteaer y que quizás fue el origen de la muerte de los organismos. Mientras la química nos da una fotografía instantánea del río, los macroinvertebrados son como un video que cuando lo rebobinamos nos informa de lo que pasó hace un tiempo.

Lo importante es que los diferentes taxones de macroinvertebrados presentan niveles de tolerancia muy variados frente a distintos tipos de perturbaciones del ecosistema, de manera que podemos asociar la presencia de diferentes grupos de macroinvertebrados con la existencia o no de una perturbación concreta. Así, mientras que los plecópteros son muy sensibles a la contaminación del agua, la mayoría de los dípteros son muchos más tolerantes. Por lo tanto, la presencia y abundancia de diversas familias de plecópteros en un tramo fluvial nos indica la ausencia de contaminación en el mismo. La utilización de indicadores biológicos frente a los habituales análisis físico-químicos de los ecosistemas acuáticos presenta numerosas ventajas, entre las que destacan i) la integración espacial y temporal, de manera que la información que nos aportan no se reduce ni al tramo ni al momento concreto en el que se estudian; y ii) la capacidad de respuesta frente a diferentes tipos de perturbaciones del ecosistema, no solo frente a la calidad química del agua, de manera que son capaces de detectar la alteración que se produce en el río frente a perturbaciones como la regulación hidrológica, alteraciones del hábitat fluvial, invasiones biológicas, etc. Las perturbaciones producidas por las acciones del ser humano en la calidad del agua de un río pueden provocar cambios en toda la comunidad, llegando al punto de reducir la comunidad a unas pocas especies tolerantes (Prat *et al.*, 2009).

4. ¿Resulta realmente interesante introducir los macroinvertebrados como indicadores de la contaminación en la educación secundaria?

El uso de macroinvertebrados como indicadores biológicos tiene una gran tradición en ecología. En un artículo publicado en 2006, Bonada *et al.* (2006) hacen una revisión de la gran diversidad de índices que se pueden utilizar y una comparación crítica de los mismos. En la Península Ibérica, el primer sistema que se publicó fue el de los saprobios por parte de Margalef (1969). Actualmente existen unos protocolos estandarizados que son los que usan las diferentes confederaciones hidrográficas para

sus medidas y que cuenta con una aplicación informática para su uso (HIBIM). El valor de estos índices tiene carácter normativo y son la pieza clave en la que se basa la Directiva Marco del Agua (DMA) para establecer si la calidad biológica de un río es muy buena, buena, mediocre, mala o muy mala, los cinco grados de calidad que prevé la DMA. Estos métodos no se pueden utilizar directamente por parte de grupos de estudiantes de primaria o secundaria o de ciudadanos sin un nivel de formación específico, debido a la dificultad y laboriosidad de los mismos. Por ello, se han hecho sucesivas adaptaciones de los materiales utilizados en temas de gestión para que puedan ser utilizados por estos colectivos.

El tema resulta de gran interés para tratar en la educación secundaria por diferentes motivos: i) permite una profundización del conocimiento de la fauna de nuestros ríos; ii) aborda el conocimiento del estado de conservación de los ecosistemas acuáticos cercanos al alumnado, pudiendo identificar las diferentes perturbaciones existentes en su comarca; iii) resulta una forma interesante de acercar la problemática de la degradación ambiental a nuestras aulas y ofrece espacios de reflexión y debate sobre la misma entre nuestro alumnado; y iv) permite al alumnado poner en práctica la metodología científica, escasamente abordada en las aulas, donde existe una clara predominancia de los contenidos teóricos.

Por lo tanto, parece evidente que la inclusión en el currículo de la educación secundaria de proyectos educativos que traten la evaluación de la calidad de los ecosistemas fluviales resultaría de gran interés, de acuerdo a Rueda & López (2003). Sin embargo, y a pesar de ser los macroinvertebrados unos de los indicadores de calidad del agua más sencillos entre los utilizados en gestión o investigación de ecosistemas fluviales, su utilización en las aulas de educación secundaria requiere una serie de adaptaciones para hacerlos atractivos y poderlos incluir en el currículum y no desanimar a los posibles usuarios (incluyendo al profesorado). Se trata de desarrollar diferentes materiales y programas educativos que permitan abordar este tipo de proyectos en la educación secundaria, adaptados al currículo de esta etapa educativa. Esto ha sido realizado en diversas ocasiones, por lo que hay muchos materiales a disposición de los educadores, la mayoría basados en experiencias en la Península Ibérica y otros adaptados de métodos similares utilizados en otras regiones geográficas. El objetivo de este trabajo,

como se ha dicho al principio, es dar una visión sucinta de lo que se está haciendo en la Península Ibérica y examinar los métodos más utilizados.

5. Los primeros pasos en la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como una herramienta didáctica

Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua fueron introducidos como medio de reflexión para el ciudadano (y las escuelas) a principios de la década de los 80, a través de diversos materiales de los cuales han sido autores dos de los firmantes de este trabajo, como el juego de rol que editó la Diputación de Barcelona titulado “Joc de l’Aigua” o los materiales creados para los inicios del “Projecte Rius”, o más recientemente una adaptación para los ríos altoandinos (Encalada *et al.*, 2011). Todos estos materiales provienen de los trabajos de investigación sobre este tema que el grupo de investigación F.E.M. (Freshwater Ecology and Management) de la Universidad de Barcelona lleva realizando desde el año 1978 (para una relación completa de los trabajos véase la web del grupo: <http://www.ub.edu/fem/index.php/es>).



Figura 2. Materiales elaborados para el juego de rol “El Joc de l’Aigua” de 1981. A la izquierda se muestra la Portada del libro “Pam a Pam” (Prat & Puig, 1982) que explicaba cómo trabajar en un río y como utilizar los macroinvertebrados como bioindicadores. A la derecha dos de las fichas que describían los invertebrados indicadores de cada nivel. Dibujos de M^aAngels Puig.

El juego de rol “El Joc de l’Aigua”, desarrollado por la Diputación de Barcelona, se publicó en 1981. Se trata de un juego de rol con diversos actores (ciudadanos, industria, ayuntamiento....) que proponen intervenciones (un parque infantil, una nueva industria, una depuradora....) y cada una de ellas tiene efectos en el río que se traducen en un cambio en las especies de invertebrados que lo habitan. El juego utiliza un sistema de bioindicadores basado en macroinvertebrados acuáticos que fue adaptado a partir de los

trabajos que desarrollaba en aquel momento el grupo de investigación F.E.M. para su uso en el campo de la gestión profesional de los recursos hídricos. En dicho juego de rol se utilizaban fichas como las mostradas en la figura 2. A partir de este trabajo surgió la que creemos es un de las primeras adaptaciones didácticas del uso de los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua en la Península Ibérica, “El riu pam a pam” (Prat & Puig, 1982) (Fig. 2).

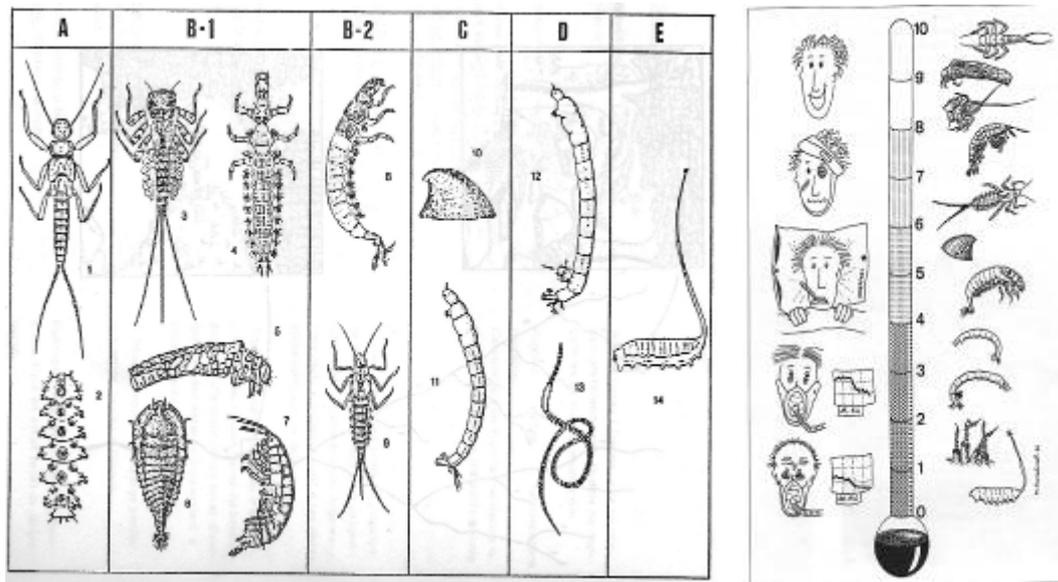


Figura 3. A la izquierda, cuadro sinóptico en el cual se describe el sistema de indicadores de 1981 de forma gráfica (Prat & Rieradevall, 1985). Cada categoría se corresponde con organismos asociados a diferente calidad del agua, desde muy buena (A) hasta totalmente degradada (E). Dibujos de Maria Rieradevall. A la derecha, comparación de la calidad del agua según los indicadores biológicos con la salud humana (Prat & Rieradevall, 1992). Esta comparativa refleja la idea de que los macroinvertebrados nos indican la salud del río.

Este material fue divulgado y usado en multitud de cursos a lo largo de los años (Prat & Rieradevall, 1985) y también fue usado por otros muchos materiales de ámbito local producidos por diversas entidades en Cataluña. Asimismo, supuso la base a partir de la cual se desarrollaron los materiales que utilizó el “Projecte Rius”, nacido en 1997. La idea central fue la de comparar la salud del río con la salud humana (Fig. 3), una idea publicada por primera vez en 1992 (Prat & Rieradevall, 1992). El “Projecte Rius” supuso un éxito inmediato gracias a factores como la buena organización y la calidad didáctica y sencillez de los materiales de diagnosis creados. Un ejemplo de los materiales originales creados por la Dra. Maria Rieradevall pueden verse en la figura 4, donde se muestra cómo se obtenía la calidad del agua mediante una rueda giratoria, un sistema basado en los materiales elaborados en 1982 y que todavía hoy podría utilizarse. La revista *espiadimonis* dedica un número especial a la evolución del “Projecte Rius”

desde sus inicios hasta el año 2012, con motivo del 15 aniversario de este proyecto (Revista Espiadimonis, 24, primavera 2012). La amplia implantación del “Proyecto Rius”, actualmente con más de 600 grupos de voluntarios, propició la aparición de diversos núcleos de grupos en la Península Ibérica (Proyecto Ríos), un buen porcentaje de los cuales son grupos de voluntarios que lo utilizan como herramienta formativa en la educación secundaria.



Figura 4. Uso de los macroinvertebrados como indicadores de la salud del río como un troquelado que tiene una parte móvil en el interior. Se pueden ver dos situaciones, a la izquierda la de una salud aún buena pero con alguna molestia y a la derecha la de una salud precaria, río en muy mal estado. Obsérvese la posición de los puntos azules que se sitúan indicando los organismos propios de cada nivel de salud.

Para una visión histórica del uso de los macroinvertebrados como indicadores biológicos puede consultarse el trabajo de Alba-Tercedor & Prat (1986).

6. Principales proyectos existentes en la actualidad que abordan la utilización de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores en la Educación Secundaria

Como se ha comentado en el apartado anterior, existen materiales desde finales de los años setenta o principios de los ochenta que intentan trasladar lo que se conoce a través de la investigación, a sistemas que puedan ser usados por un público más amplio. Muchos de los materiales desarrollados a lo largo del tiempo han tenido poco éxito y han desaparecido del mapa de métodos más utilizados. Actualmente se puede decir que hay dos grandes grupos de métodos: los que usan trabajos desarrollados en la Península Ibérica y los que copian métodos que se originan en organizaciones de otras áreas geográficas. En los últimos años, todos estos métodos se han acogido a un paraguas

común que trata de dar más visibilidad a sus resultados y de coordinar las diferentes iniciativas: el programa de Voluntariado en Ríos del MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).

En la tabla 2 se presenta un resumen de los proyectos educativos que tratan con diferente grado de profundidad la evaluación de la calidad de los ecosistemas fluviales. Mientras el Proyecto Ríos deriva de trabajos que adaptan metodologías diseñadas en la Península Ibérica, el Día Mundial del Control de la Calidad del Agua (DMCCA) mezcla metodologías utilizadas en otras zonas geográficas con adaptaciones de algunos índices desarrollados aquí. Este método es el que se recomienda en la web del MAGRAMA. Finalmente, el Proyecto GLOBE (Global Learning and Observation to Benefit the Environment) es un proyecto que se ha adaptado de su original americano (iniciado en el año 1995) a través del CIDE.

Todos ellos son programas que tratan de fomentar la concienciación pública para la protección de los recursos hídricos. La finalidad general de éstos consiste en sensibilizar sobre los valores socioambientales de los ecosistemas fluviales, promover la participación ciudadana para el conocimiento, diagnóstico y mejora de los sistemas fluviales, y conservar y mejorar el patrimonio natural y cultural de los ríos en el marco de un desarrollo sostenible. La parte de la sociedad a la que van dirigidos estos proyectos es muy variada, pero en todos ellos, en mayor o menor medida, existen actividades dirigidas a centros escolares de educación secundaria.

La metodología del Proyecto Ríos se basa en un número reducido de taxones indicadores, es decir, asociados con una determinada categoría de calidad. En función de los diferentes taxones de este tipo que se localicen en el tramo estudiado, se determina la calidad ecológica del mismo. La ventaja que tiene es que no necesita el conocimiento de las más de 120 familias que se encuentran en la Península Ibérica, la desventaja es que según qué tipo de ríos pueden contener algunos taxones no utilizados en estos materiales. Asimismo, el Proyecto Ríos incluye una determinación de la calidad hidromorfológica (índice que evalúa la calidad del bosque de ribera). Esta parte se ha desarrollado mucho más en los materiales que se han realizado para los ríos altoandinos y que pronto serán editados en España. El Proyecto Ríos es en realidad una red de 7 agrupaciones que utilizan metodologías similares pero que en realidad son independientes. Su página web (acceso 16.12.2013) no parece estar muy actualizada.

El método que se utiliza para los macroinvertebrados en el sistema de ADECAGUA (DMCCA) se basa en la asignación de una puntuación determinada a cada uno de los taxones presentes en una masa de agua, de manera que la suma nos da un valor final que se asocia con una determinada calidad del ecosistema estudiado. También tiene una parte dedicada al bosque de ribera.

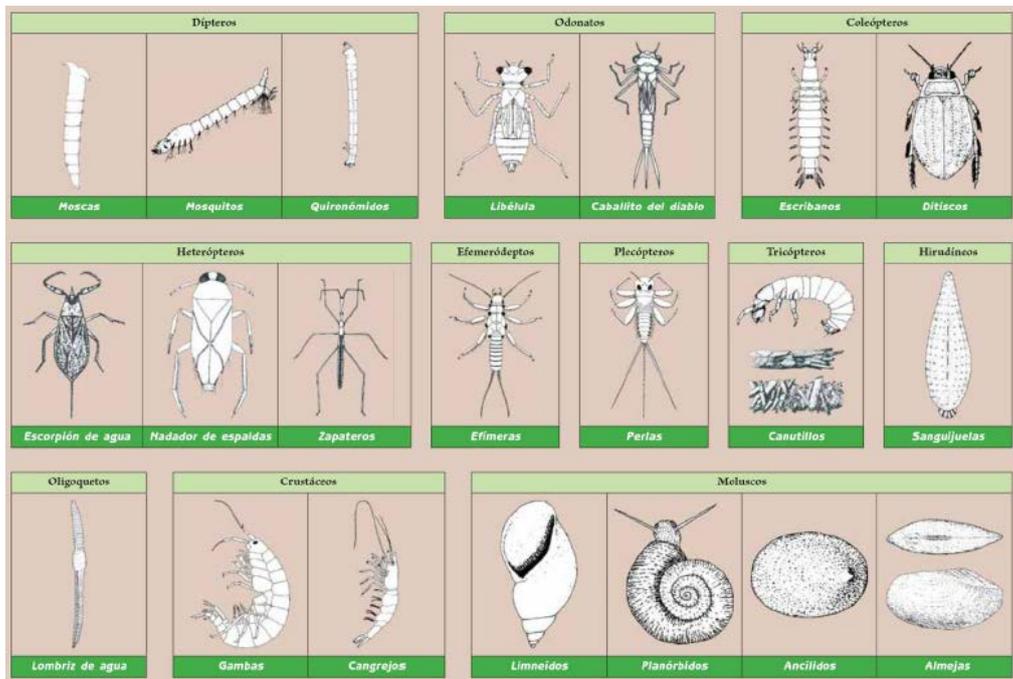


Figura 5. Fichas disponibles en el programa DMCCA para la identificación de los diferentes taxones de macroinvertebrados.

En el programa GLOBE el alumnado puede llevar a cabo mediciones de ecosistemas o aspectos muy variados como atmósfera, hidrología, cobertura vegetal, edafología, aerosoles, humedad relativa, presión atmosférica y ozono. En lo relativo a los macroinvertebrados acuáticos, tanto la terminología que usa este programa como las claves de clasificación de macroinvertebrados que recomienda son directamente las de uso norteamericano (no hay claves de macroinvertebrados europeos recomendadas), obviando todo el trabajo realizado en Europa y en la Península Ibérica, que es extenso y mucho más adecuado a nuestros ríos. El modo de empleo de los macroinvertebrados como indicadores es muy simple (usa la terminología de nombres comunes como frigáneas, moscas de las piedras...) y no se adecua mucho a la realidad (pues entre estos grupos tan amplios hay representantes de aguas muy limpias y otros más tolerantes). En su base de datos tienen más de 300 centros en España que usan estos materiales.

Tabla 2. Tabla resumen de los principales proyectos que tratan la evaluación de los ecosistemas fluviales en la educación secundaria. WEF = Water Environmental Federation; ADECAGUA = Asociación para la Defensa de la Calidad de las Aguas; ADEGA = Asociación para la Defensa Ecológica de Galiza; ASDENUT = Asociación de Defensa y Estudio de la Nutria y su hábitat; CIUDEN = Ciudad de la Energía; ASPEA = Associação Portuguesa de Educação Ambiental; MAGRAMA = Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente; NOAA = National Oceanic and Atmospheric Administration; CIDE = Centro de Investigación y Documentación Educativa.

Nombre del proyecto	Ámbito territorial	Año de inicio	Organización que la coordina	Página web	Tipo de participantes	Finalidad	Método macroinvertebrados
Programa de Voluntariado en Ríos (PVR)	España, en las cuencas hidrográficas intercomunitarias (Norte, Duero, Tajo, Guadiana, Guadalquivir, Segura, Júcar y Ebro)	2006	MAGRAMA	http://www.magrama.gob.es	Entidades públicas o privadas a través de convocatorias públicas	Coordinación y financiación de programas de voluntariado en ríos. Incluye actividades de sensibilización, análisis de agua, restauración, limpieza, etc	Sin especificar
Proyecto Ríos	Cataluña, Comunidad Valenciana y Cuenca del Júcar, Madrid, Cantabria, Galicia, Asturias, El Bierzo-Laciana y Portugal	1997	Associació Hábitats, Fundació Limne, Territoris Vivos, ADEGA, Red Cambera, ASDENUT, CIUDEN, ASPEA	http://www.proyectosrios.org/	Grupos de voluntarios de carácter muy variado	Seguimiento de un tramo fluvial en el tiempo, midiendo una serie de características físicas, químicas y biológicas 2 veces al año	Especies indicadoras (Sistema original M. Rieradevall & N. Prat)
Proyecto GLOBE (Global Learning and Observation to Benefit the Environment)	Mundial	1994 (mundial) 1998 (España)	NOAA (mundial) CIDE (España)	http://www.globe.gov/es/home	Centros escolares	Programa continuo de mediciones ambientales (agua, atmósfera, vegetación y suelo)	Sin especificar
Día Mundial del Control de la Calidad del Agua (DMCCA)	Mundial (90 países)	2002 (mundial) 2007 (España)	WEF (mundial) ADECAGUA (España)	http://www.dmcca.es/index.html	Entidades públicas o privadas, mayoritariamente centros escolares	Estudio del estado ecológico de una masa de agua, evaluando parámetros físico-químicos, hidromorfológicos y biológicos	Elaboración de índices bióticos

Junto con estos proyectos (hoy día parecen ser los más utilizados a nivel de toda España), cabe destacar la existencia de otros materiales publicados acerca de la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como herramienta para conocer el estado ecológico de los ríos. Una sola mención de los mismos nos llevaría a ocupar un espacio demasiado amplio. Señalemos por su interés el trabajo de Rueda & López (2003), que publicaron unas claves dicotómicas para la identificación de macroinvertebrados y la evaluación del estado ecológico en base a especies indicadoras aplicado a la educación secundaria. Asimismo, Rueda *et al.* (2005) proponen un método adaptado a la educación secundaria de evaluación de la calidad de los ecosistemas acuáticos a partir del modo de nutrición (IMN) de sus macroinvertebrados. El que otros proyectos no hayan tenido el éxito de los tres indicados (aunque regionalmente pueden ser importantes) depende de diversos factores que sería largo de analizar. El impulso dado por el MAGRAMA a su proyecto de voluntariado en ríos (que hasta 2012 contaba con un boletín mensual y una convocatoria de ayudas) parece que se ha ralentizado o bien está casi desaparecido, y en 2013 la convocatoria se ha hecho dentro de un marco más amplio (en la Fundación Biodiversidad). También se detecta poca actividad reciente por parte del CENEAM que coordinaba los programas educativos y el voluntariado en ríos.

7. ¿Cómo mejorar los métodos existentes?

Como ya se ha comentado anteriormente, el estudio de la evaluación de la calidad de los ecosistemas fluviales es un aspecto de gran interés en la educación secundaria por el gran número de aplicaciones que presenta. En este sentido, el simple hecho de que se lleven a cabo diferentes proyectos educativos que permiten poner en práctica este tema en las aulas de secundaria, proporciona en sí mismo un gran interés a estos proyectos educativos, así como a los materiales diseñados con esta finalidad. Sin embargo, una vez dado este paso, consideramos que es posible mejorar los recursos existentes y el desarrollo de los mismos, para lo cual nos parece interesante diagnosticar los principales aspectos susceptibles de mejorar. Lo hacemos también teniendo en cuenta que en los últimos años la existencia de la Directiva Marco del Agua (que se empezó a implementar hace 10 años, a finales del 2003) ha variado en gran manera los métodos oficiales de los distintos países europeos de medida de la calidad del agua y ahora se trata de medir el estado ecológico. ¿Qué es el estado ecológico? Es una medida mucho más completa e integral de la calidad del agua que incluye un cambio muy importante, que es la comparación de los datos que nosotros recogemos con un sistema de referencia, lo que corrige las posibles diferencias entre diferentes tipos de ríos. Por lo tanto,

hay dos conceptos nuevos que hay que explicar a los posibles usuarios de estas metodologías: la tipificación de los ríos (pues sus comunidades pueden ser diferentes de manera natural) y la comparación de la comunidad actual con la comunidad de referencia de su tipo. A continuación se describen los principales puntos susceptibles de mejorar en los materiales educativos existentes:

i) El problema de la tipología

De manera general, no podemos comparar los seres vivos que encontramos en diferentes tipos de ríos, puesto que cada uno de ellos presenta, de manera natural, unas condiciones óptimas para la presencia de unas especies u otras. En los ríos, las condiciones de oxigenación, temperatura, tipo de sustrato o grado de insolación existentes entre tramos de cabecera y tramos bajos serán profundamente diferentes, debido a aspectos como la climatología, pendiente del terreno o anchura del cauce. En este sentido, en los tramos de cabecera aparecerán taxones adaptados a elevadas concentraciones de oxígeno, elevada velocidad de corriente, sustrato de gran tamaño o baja temperatura, mientras que en los cursos bajos existirán taxones adaptados a condiciones inversas. Estas diferencias entre ríos con diferentes características son lo que llamamos tipologías y han de ser tenidas en cuenta en los índices bióticos aplicados en temas de gestión de aguas. En estos casos, las comunidades de macroinvertebrados de cada río se comparan con unas comunidades de ríos de la misma tipología que no presenten presiones de origen antrópico, que son utilizadas como condiciones de referencia. En el caso de los métodos utilizados en secundaria hasta ahora, este aspecto no se tiene en cuenta, utilizándose los mismos taxones indicadores en todo tipo de ríos, a pesar de que, aún sin existencia de presiones antrópicas, los taxones presentes serían claramente diferentes. Por ello, resultaría de gran interés ajustar los índices bióticos a las diferentes tipologías de ríos, si bien no sería necesario hacer tantas tipologías como se considera en los trabajos de la Directiva Marco del Agua (hasta 32 diferentes en España) sino que con menos de 10 de ellas sería suficiente. Cómo integrar ésto en los diferentes materiales existentes hasta ahora es un reto que quienes esto firman están abordando actualmente (por ejemplo usando fotografías para definir las diferentes tipologías).

ii) El problema de las condiciones de referencia

Si como condición de referencia queremos indicar que un río está totalmente inalterado, pocos encontraríamos en la Península Ibérica. Pero sí que encontramos ríos que han sido poco modificados o bien se han recuperado de perturbaciones que se les hicieron en algún

momento y por lo tanto tienen unas comunidades bastante cercanas a las de las condiciones inalteradas. El sistema que propone la DMA es como el que se presenta en la figura 6. Se trata de comparar la comunidad que se encuentra en un tramo de río estudiado con la de referencia, con lo que el valor de calidad biológica variará entre 0 y 1 (o algo más de uno si en algún momento se encuentra alguna especie que antes no se había encontrado). Para la implementación de la DMA se han hecho diversos documentos con diversos índices biológicos, sistemas realmente complejos como para ser explicados a alumnos de secundaria. Por ello, es un reto el pasar de estas investigaciones a la utilización en sistemas más aptos para el público en general y para los alumnos de secundaria en particular. La manera más sencilla parece ser usar para cada tipo las familias tolerantes o intolerantes que hay en cada caso. Como las familias tolerantes son siempre las mismas, el problema es la lista de especies intolerantes, que es diferente para los tipos de ríos que se pueden definir en la Península Ibérica. Ese trabajo está en marcha en los trabajos que desarrolla el grupo F.E.M. actualmente.

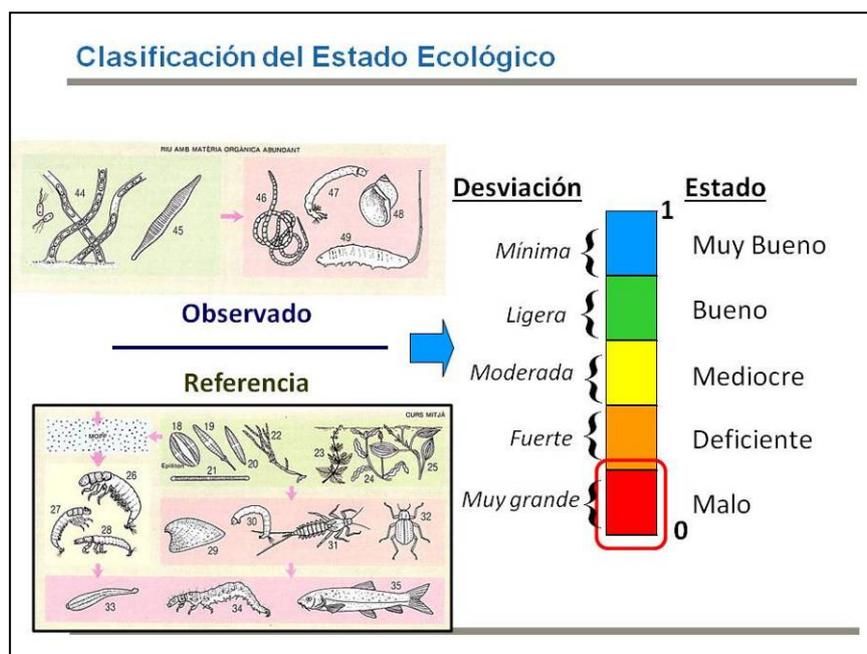


Figura 6. La DMA ha introducido una nueva manera de valorar la calidad biológica que es comparar la comunidad que se encuentra en el río con la de referencia y así establecer la calidad en 5 niveles con cinco colores. En el caso que se muestra en la figura, la calidad sería mala puesto que la comunidad de organismos presentes es una parte muy reducida de lo que debería haber. Figura original de N. Prat utilizando los dibujos realizados por Maria Rieradevall para la Història Natural dels Països Catalans.

iii) Utilización de índices integrados

La evaluación única de la calidad biológica mediante macroinvertebrados resulta muchas veces insuficiente. Según la DMA deberíamos integrar la evaluación biológica de algas

(diatomeas), macroinvertebrados y peces, pero en la educación secundaria esto es imposible (las algas hay que trabajar a nivel de especie y para los peces se necesita un equipo de pesca eléctrica, permisos, etc.). Sin embargo, podemos combinar los macroinvertebrados con medidas del bosque de ribera o de las características morfológicas del lecho del río. Los índices QBR (referido al bosque de ribera) e IHF (referido a la morfología del río, ver el protocolo GUADALMED (Jáimez-Cuéllar *et al.*, 2002) o el protocolo F.E.M. en la web: <http://www.ub.edu/fem/>) pueden ser utilizados en educación secundaria con los manuales que existen hoy en día. Por otra parte, en el protocolo CERA-S (Encalada *et al.*, 2011) se integran los dos en un índice único que pronto estará disponible en España.

iv) La necesidad de una base de datos centralizada

El número de participantes en los diferentes proyectos comentados anteriormente es muy importante, tanto entre los centros de secundaria como entre otro tipo de entidades u organizaciones, por lo que la cantidad de datos obtenida puede ser grande. Estos datos son frecuentemente centralizados por las organizaciones responsables de los proyectos, elaborándose informes con los mismos, pero estas bases de datos no suelen estar disponibles para el público en general. Sin embargo, en muchas ocasiones este proceso de centralización de datos no se lleva a cabo, siendo la generación de datos muy superior a los publicados finalmente. Asimismo, y a pesar de existir en el MAGRAMA el programa “Volunta Ríos”, no existe una verdadera coordinación entre los diferentes proyectos existentes, lo cual resulta en una pérdida de transmisión de resultados que podrían ser de gran valor en diferentes ámbitos. Por todo ello, consideramos imprescindible la coordinación entre los diferentes participantes de estos proyectos, de manera que podamos contar con unas bases de datos centralizadas del estado ecológico de los ríos evaluado con este tipo de metodología. Estos resultados no se ajustarían completamente al estado de salud del ecosistema, debido a la simplificación de la metodología respecto a los métodos oficiales y profesionales, pero sí que nos podrían aportar información muy valiosa sobre la evolución de los ecosistemas acuáticos a lo largo del tiempo, puesto que siempre se habrían evaluado de la misma manera.

v) Falta de formación de los docentes

Como hemos comentado en apartados anteriores, los diferentes métodos utilizados no son excesivamente dificultosos, pero sí que requieren ciertos conocimientos, fundamentalmente respecto a la taxonomía de macroinvertebrados, para elaborar los índices lo mejor posible y poder obtener conclusiones más relevantes. Sin embargo, la realidad es bien diferente, de

manera que no es frecuente que las personas que llevan a cabo estas actividades tengan el nivel de conocimientos adecuado, lo cual hace que parte, sino todos, los resultados obtenidos con alguna de estas metodologías deba tomarse con cierta precaución antes de deducir si un río o conjunto de ríos evolucionan a mejor en un área determinada. Cabe destacar que la evaluación del estado ecológico no es el único objetivo de estos proyectos, que tratan fundamentalmente de ser una herramienta para profundizar en aspectos de sensibilización frente al medio acuático. En cualquier caso, la existencia de cursos de formación para el profesorado sobre taxonomía de macroinvertebrados y elaboración de índices bióticos resultaría de gran interés para poder obtener unos resultados más interesantes con este tipo de trabajos.

8. Conclusión

Con todo lo expuesto, podemos concluir que la utilización de macroinvertebrados acuáticos en la educación secundaria presenta una serie de aplicaciones que la convierten en una herramienta didáctica de gran interés y potencial. El profesorado dispone de diversos materiales y programas educativos que le permiten y facilitan la utilización de esta herramienta en las aulas. Sin embargo, se debe seguir trabajando en este tema para facilitar e impulsar la utilización de esta comunidad de seres vivos en la educación secundaria y en otros niveles educativos, fundamentalmente en lo que se refiere a mejora y adaptación de los materiales existentes, formación del profesorado y coordinación de programas. En este sentido resulta necesario que los requerimientos que exige la DMA (tipología de ríos, comparación con una referencia, integración con características hidromorfológicas) sean incluidos en los futuros programas que se diseñen.

Bibliografía

- Alba-Tercedor, J., & Prat, N. (1986). Spanish experience in the use of macroinvertebrates as biological pollution indicators. En: *River Water Quality Assessment and Control* (pp. 733–738). Brussels: Commission of European Communities.
- Bonada, N., Prat, N., Resh, V. H., & Statzner, B. (2006). Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. *Annual Review of Entomology*, 51, 495–523.
- Encalada, A., Rieradevall, M., Ríos-Touma, B., García, N., & Prat, N. (2011). *Protocolo simplificado para la evaluación de la calidad ecológica de los ríos altoandinos (CERAS)*. USFQ, UB, AECID, FONAG. (p. 83). Quito: USFQ, UB, AECID, FONAG.

- González del Tánago, M., & García de Jalón, D. (2007). *Restauración de ríos. Guía metodológica para la elaboración de proyectos*. (p. 318). Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- Història Natural dels Països Catalans. 1989. Sistemes Naturals. Vol 14. Enciclopèdia Catalana S.A. Barcelona.
- Jáimez-Cuéllar, P., Vivas, S., Bonada, N., Robles, S., Mellado, A., Álvarez, M., Avilés, J., Casas, J., Ortega, M., Pardo, I., Prat, N., Rieradevall, M., Sáinz-Cantero, C.E., Sánchez-Ortega, A., Suárez, M.L., Toro, M., Vidal-Abarca, M.R., Zamora-Muñoz, C., Alba-Tercedor, J. (2002). Protocolo Guadalmed (PRECE). *Limnetica*, 21(3-4), 187–204.
- Margalef, R. (1969). El concepto de polución y sus indicadores biológicos. *Documentos de investigación Hidrológica. Suplemento de la revista Agua*, 7, 105–133.
- Prat, N., & Puig, M. A. (1982). *El riu pam a pam*. (p. 47). Barcelona: Servei Medi Ambient, Diputació de Barcelona.
- Prat, N., & Rieradevall, M. (1985). Els rius. En *El trencaclosques natural II. Trobades amb la ciència*. (pp. 36–50). Barcelona: CIRIT, Generalitat de Catalunya.
- Prat, N., & Rieradevall, M. (1992). La degradació del riu Besòs. *Lauro*, 4, 15–18.
- Prat, Narcís, Ríos, B., Acosta, R., & Rieradevall, M. (2009). Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. En *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. (pp. 631-654). Tucumán, Argentina: Fundación Miguel Lillo.
- Rueda, J., & López, C. (2003). Valoración de la calidad biológica de los ríos. Claves de identificación para la enseñanza secundaria. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 17, 107–123.
- Rueda, J., López, C., & Hernández, R. (2005). Evaluación de la calidad de los ecosistemas acuáticos a partir del modo de nutrición (IMN) de sus macroinvertebrados. Una adaptación para la educación secundaria. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 19, 103–114.
- Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden S., Bunn S. E., Sullivan C.A., Reidy Liermann C., Davies, P. M. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467, 555–561.