

1.6 Los sistemas fluviales mediterráneos: la calidad ecológica y las estrategias de transferencia del conocimiento en las cuencas del Besòs y la Tordera (Barcelona)

Antoni Mas-Ponce [0000-0003-3116-8423], Universitat Autònoma de Barcelona, Departament de Geografia, Bellaterra, España. antoni.mas.ponce@uab.cat

Sònia Sánchez-Mateo [0000-0001-6544-2967], Universitat Autònoma de Barcelona, Departament de Geografia, Bellaterra, España. sonia.sanchez.mateo@uab.cat

Montserrat Pallares-Barbera [0000-0002-1595-3248], Universitat Autònoma de Barcelona, Departament de Geografia, Bellaterra, España. montserrat.pallares@uab.cat

Resumen – Durante los años de 1960 y 1970, los sistemas fluviales mediterráneos se vieron afectados por presiones antropogénicas de manera generalizada, provocando el descenso de su calidad ecológica. Uno de los casos más paradigmáticos es el río Besòs, en el área metropolitana de Barcelona, que fue considerado como el más contaminado de Europa. En las últimas dos décadas la calidad ecológica de estos sistemas fluviales ha experimentado notables mejoras. Y es en este contexto de cambio cuando en 1996 se crea el proyecto del Observatori RIVUS, que actualmente tiene un doble objetivo: a) evaluar el estado de calidad ecológica de las cuencas del Besòs y de la Tordera (NE España) mediante el monitoreo de indicadores a medio y largo plazo; y b) implementar el programa de educación ambiental, comunicación y formación (PROECA) como elemento transversal para acercar y fortalecer el vínculo entre el binomio “sociedad-río”. Desde 2004, momento en que el PROECA tuvo sus inicios, se han llevado a cabo numerosas actividades de educación ambiental entre el público general (educación informal) y el público escolar de diferentes niveles educativos (educación formal), además de la comunicación científica, así como una experiencia de ciencia ciudadana a través del censo visual participativo de nutria, una especie emblemática de los sistemas fluviales mediterráneos. En este capítulo se analizan los principales procesos de cambio en las cuencas de los ríos Besòs y Tordera (especialmente en las áreas urbanas), la experiencia del PROECA como un claro ejemplo de transferencia de conocimiento en materia de sistemas fluviales, y una reflexión de como todo ello incide en la percepción urbana del río como bien común.

Palabras clave – Sistemas fluviales mediterráneos, ríos urbanos, calidad ecológica, cambio global, transferencia del conocimiento, educación ambiental, ciencia ciudadana.

Resumo – Durante os anos de 1960 e 1970, os sistemas fluviais mediterrânicos foram, de uma forma geral, afetados por pressões antrópicas, causando uma diminuição da sua qualidade ecológica. Um dos casos mais paradigmáticos é o do rio Besós, na área metropolitana de Barcelona, que foi considerado o mais poluído da Europa. Nas últimas duas décadas, a qualidade ecológica desses sistemas fluviais sofreu melhorias notáveis. E é neste contexto de mudança que foi criado, em 1996, o projeto Observatório RIVUS, que atualmente tem um duplo objetivo: a) avaliar o estado da qualidade ecológica das bacias de Besós e Tordera (NE Espanha) através da monitorização de indicadores a médio e longo prazo; e b) implementar o programa de educação ambiental, comunicação e capacitação (PROECA) como elemento transversal, para aproximar e fortalecer o vínculo entre o binômio “sociedade-rio”. Desde 2004, quando teve início o PROECA, inúmeras atividades de educação ambiental têm sido realizadas junto ao público em geral (educação informal) e ao público escolar de diferentes níveis de ensino (educação formal), além de divulgação científica, bem como experiências de ciência cidadã através do censo visual participativo da lontra, espécie emblemática dos sistemas fluviais do Mediterrâneo. Este capítulo analisa os principais processos de mudança nas bacias dos rios Besós e Tordera (especialmente em áreas urbanas), a experiência do PROECA como exemplo claro de transferência de conhecimento na área dos sistemas fluviais, e uma reflexão sobre como tudo isto afeta a percepção urbana do rio como um bem comum.

Palavras-chave – Sistemas fluviais mediterrâneos, qualidade ecológica, mudança global, transferência de conhecimento, educação ambiental, ciência cidadã

1. EL CONTEXTO DE LAS CUENCAS MEDITERRÁNEAS

Las cuencas mediterráneas están principalmente sujetas a una amplia variabilidad climática interanual, caracterizada especialmente por períodos de baja precipitación y/o sequías en verano y por avenidas estacionales a causa de precipitaciones abundantes en primavera y otoño (Cuddenec et al., 2007). Esta variabilidad climática se verá intensificada debido a los efectos del cambio climático, con previsiones de un aumento de 2.2°C en 2040 en zonas fluviales mediterráneas, lo que significará un descenso de entre el 2% al 15% de los recursos hídricos en sistemas fluviales, siendo uno de los más pronunciados a nivel global (Gudmundsson, et al., 2016). A nivel local, en Catalunya (Nordeste de la Península Ibérica), los modelos climáticos prevén un aumento de 1.4°C y un descenso de las precipitaciones anuales del 7% (Martin-Vide, et al., 2017).

Durante las décadas de los años 60 y 70, el crecimiento urbano e industrial en el área de estudio se expandió de manera notable en torno a los cursos medios y bajos de los ríos. De manera general, debido a la intensificación de las actividades antropogénicas, la región mediterránea se vio afectada por numerosas presiones en sus sistemas naturales. Estos procesos han ido vinculados al descenso de la calidad ecológica y a la modificación del régimen hidrológico de los sistemas fluviales (Vega et al., 1998; Hermoso et al., 2011).

En aquellos momentos, la inexistencia de sistemas de tratamiento de las aguas residuales en la mayoría de las ciudades de Catalunya tuvo claras repercusiones negativas en la calidad ecológica de los ríos. Este hecho hizo que durante estas décadas hubiera vertidos incontrolados de aguas residuales al medio fluvial, tanto de carácter doméstico como industrial. La cuenca del Besòs fue considerada durante muchos años como la más contaminada de Europa debido a las fuertes presiones antropogénicas a las que estaba sometida.

En 1995 fue aprobado el Plan de Saneamiento de Catalunya, con el principal objetivo de reducir y eliminar los agentes contaminantes vertidos en los ríos del territorio. Actualmente, y gracias a la inversión de recursos, en Catalunya hay alrededor de 527 estaciones depuradoras, lo que supone que el 95% de los sistemas fluviales están tratados. Este hecho se vincula directamente con la mejora general de la calidad ecológica de los sistemas fluviales, aunque todavía hay muchos retos por delante (Mas-Ponc et al., 2021).

125

2. LAS CUENCAS DEL BESÒS Y DE LA TORDERA

Las cuencas del Besòs y de la Tordera son dos cuencas fluviales de carácter mediterráneo con una superficie muy similar, alrededor de los 1,000 km² que se encuentran entre las provincias de Barcelona y Girona, al Nordeste de la Península Ibérica (Figura 1). Presentan características muy semejantes ya que en las cabeceras se encuentran Áreas Naturales Protegidas (ANP) como sería el caso de la Reserva de la Biosfera y Parque Natural del Montseny y, en los cursos medios y bajos, dominan las áreas urbanas y actividades industriales, especialmente en la cuenca del Besòs, la cual incluye parte del Área Metropolitana de Barcelona. En ambos casos, sus cursos principales desembocan en el mar Mediterráneo.

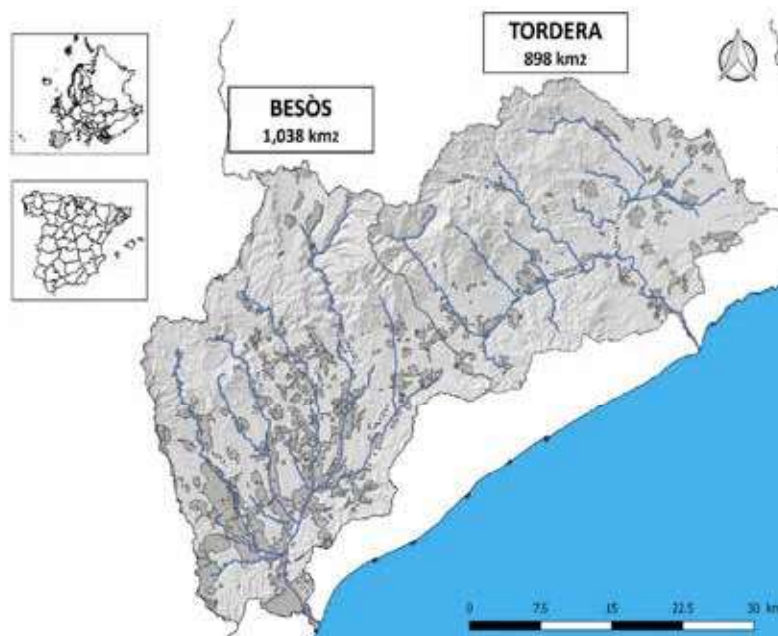


Figura 1. Mapa de las áreas de estudio, cuencas del Besòs (izquierda) y de la Tordera (derecha).

Fuente: Fundació RIVUS.

126

La cuenca del Besòs (Figura 2) cuenta con área total de 1,038 km², se ubica al nordeste de la provincia de Barcelona y con un caudal medio anual de 2.9 m³/s que puede multiplicarse, debido a su carácter mediterráneo, durante los episodios de elevada pluviometría, especialmente en primavera y otoño. A nivel hidrológico es una cuenca ramificada y dividida por seis subcuencas que tienen sus propias características: Mogent, Congost, Tenes, riera de Caldes, Ripoll, y Besòs, confluyendo todas las anteriores en esta última.

Incluye parte del Área Metropolitana de Barcelona, hecho que ha propiciado que en los últimos cincuenta años la población habitante en la cuenca ha aumentado hasta llegar aproximadamente a los 2 millones de personas (Sánchez-Mateo et al., 2017).



Figura 2. Diferentes cursos que componen la cuenca del Besòs. De izquierda a derecha, el curso alto del río Tenes, el curso medio del río Congost y el curso bajo del río Besòs.

Fuente: Fundació RIVUS.

La cuenca de Tordera (Figura 3), con una superficie total de 898 km², está ubicada entre las provincias de Barcelona y Girona y cuenta con un caudal medio anual de 4.86 m³/s registrado en el curso inferior (L'Observatori de la Tordera, 2018). El curso principal del río Tordera, con 61 km de longitud, nace en el Parque Natural y Reserva de la Biosfera del Montseny entre las cimas del Turó de l'Home (1,712 m) y del Matagalls (1,696 m). El área que delimita la cuenca está formada por un conjunto de diferentes subcuencas, entre las que se encuentran la riera de Arbúcies y la riera de Santa Coloma.

El río Tordera es considerado un río claramente influenciado por la meteorología, la estructura geológica y su hidrología. Las características mediterráneas de esta zona condicionan periodos secos durante el verano e intensas lluvias durante la primavera y el otoño, provocando episodios de crecidas e inundaciones.



Figura 3. Diferentes cursos que componen la cuenca de la Tordera. Curso alto en la riera d'Arbúcies (izquierda) y delta de la Tordera (derecha). Fuente: Fundació RIVUS.

3. OBSERVATORI RIVUS: SEGUIMIENTO DE INDICADORES SOCIOECOLÓGICOS EN CUENCAS FLUVIALES MEDITERRÁNEAS

El Observatori RIVUS es un proyecto de investigación interdisciplinar que tiene por objetivo la definición y el seguimiento de indicadores para evaluar el estado de calidad de las cuencas Besòs y Tordera a medio y largo plazo. Se centra en el monitoreo de diferentes indicadores biológicos, hidromorfológicos y fisicoquímicos a través de metodologías desarrolladas y testeadas a partir de protocolos metodológicos, algunos de ellos establecidos en el contexto de la Directiva Marco del Agua (Figura 4). El proyecto se inició en 1996 y algunos datos cuentan con series de 25 años, siendo uno de los proyectos de monitoreo con algunas de las series históricas más relevantes de la península Ibérica, como es el caso de peces continentales (Muñoz-Mas and García-Berthou, 2019). Actualmente el proyecto se impulsa desde la Fundació RIVUS a través de la colaboración público-privada con el Instituto de Ciencia y Tecnología de la Universidad Autónoma de Barcelona (ICTA-UAB), la Fundació Barcelona Zoo, el Consorci Besòs Tordera y las empresas Grifols y Freudenberg.

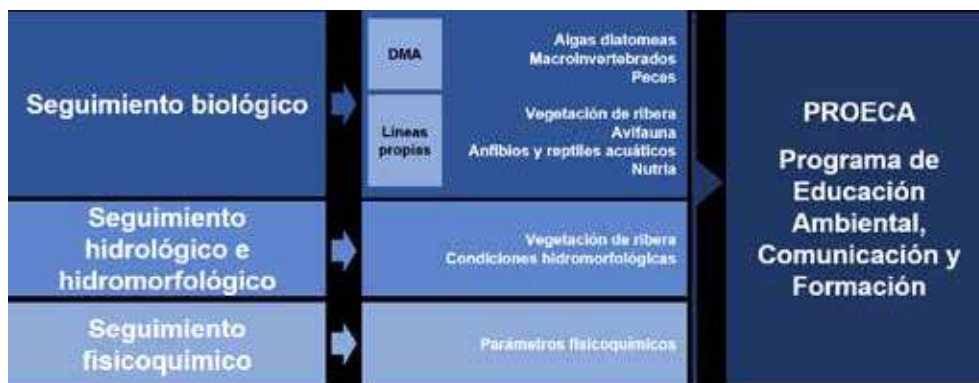


Figura 4. Líneas de investigación del proyecto del Observatori RIVUS, remarcando el PROECA como el eje transversal para la transferencia de conocimiento. Fuente: Fundació RIVUS.

3.1. La evaluación del estado ecológico de los sistemas fluviales

Los recursos hidráulicos son parte esencial de la vida y se los debe considerar tanto desde la corriente ecológica como desde la corriente social. En este sentido y desde la perspectiva de conservación de estos recursos, en el año 2000 entra en vigor la Directiva Marco del Agua (DMA, 2000/60/EC) como el eje regulador a seguir en el contexto europeo y el eje a través del cual se deben enfocar todos los planes de gestión de los recursos hídricos. Esta nueva legislación contempla como eje principal la participación incorporando el conocimiento ciudadano en la toma de decisiones. El Observatori RIVUS contempla el monitoreo de indicadores y parámetros establecidos dentro de la Directiva Marco del Agua para determinar el estado ecológico de los ecosistemas fluviales, y además, desarrolla líneas de investigación propias.

En total el proyecto se centra en 8 líneas de investigación de carácter biológico (diatomeas, macroinvertebrados, ictiofauna, ornitofauna, mamíferos, anfibios y reptiles acuáticos y vegetación de ribera) hidromorfológico (vegetación de ribera y régimen hidrológico) y parámetros fisicoquímicos. Cada línea tiene su metodología establecida que se aplica en diferentes campañas a lo largo del año con el objetivo de interpretar la variabilidad interanual de los resultados.

Indicadores biológicos

Macroinvertebrados

Los macroinvertebrados bentónicos son uno de los bioindicadores más utilizados históricamente para determinar la calidad biológica de las aguas de ríos y arroyos (Rosenberg y

Resh, 1993), incluido en la DMA. Los protocolos de muestreo, los índices biológicos y sus rangos de calidad según cada tipo de río están definidos por la Agencia Catalana del Agua (ACA, 2006).

La metodología consiste en la recolección de muestras biológicas de macroinvertebrados para la determinación de la calidad biológica de los sistemas fluviales con índices biológicos (IBMWP, BMWPC y FBILL) que están definidos por la Agencia Catalana del Agua (ACA, 2006).

Diatomeas

Las algas diatomeas bentónicas, debido su tamaño microscópico y alta tasa de reproducción, tienen mucha sensibilidad a los cambios en los hábitats fluviales, de manera que reflejan los impactos que ocurren a micro y mesoescala. Por estos motivos, estas algas microscópicas se consideran muy buenos bioindicadores de variaciones en el estado de la calidad fisicoquímica del agua y la calidad biológica de los ríos.

A través de la evaluación de diatomeas, el objetivo de esta línea de investigación es determinar en el tiempo y el espacio la calidad biológica del agua en cursos fluviales a partir de la diversidad específica de comunidades de diatomeas bentónicas mediante el índice IPS (Gomà, 2005; ACA, 2006).

129

Ictiofauna

Los peces tienden a ocupar niveles tróficos altos (Sánchez-Hernández & Amundsen 2015) y son relativamente fáciles de muestrear e identificar. En términos generales, su ausencia indica limitaciones en el estado ecológico del área de estudio (Lorenz et al. 2013), por lo que este grupo se ha utilizado a menudo como indicador de la salud de los ecosistemas acuáticos. Además, son bien conocidos por el público en general y se convierten en una excelente herramienta de comunicación y gestión ambiental (Benejam et al., 2008a; García-Berthou et al., 2016). El uso de índices bióticos de calidad del agua basados en la composición de las comunidades de peces es una práctica común, por lo que la DMA ha seleccionado peces, junto con macroinvertebrados y diatomeas, como indicadores del estado ecológico en relación con el monitoreo biológico.

El área de investigación de peces Observatori RIVUS utiliza el índice IBICAT2b (García-Berthou et al., 2016) para determinar el estado ecológico de las unidades de muestreo. Además, se analiza la composición y cantidad de especies capturadas durante el muestreo que permite determinar la diversidad y distribución de las especies.

Ornitofauna

Esta línea de investigación se centra en el estudio de la evolución temporal y la composición específica de las aves que nidifican en zonas de ribera como bioindicadores del estado de calidad. Se trata de una iniciativa pionera, ya que la DMA no incluye a las aves en la evaluación del estado de la calidad de las masas de agua.

Al no estar incluido en la DMA, el proyecto tiene como objetivo establecer un protocolo de muestreo con el fin de especificar el carácter bioindicador durante la época de reproducción de las diferentes especies de aves cruzando los índices de abundancia obtenidos con otros factores. Estos factores incluyen la cobertura y uso del suelo, variables del muestreo de otras áreas de investigación comprendidas en el proyecto, o parámetros relacionados con la ecología de cada especie, como su distribución, abundancia o su grado de amenaza.

El método utilizado para la evaluación de aves se basa en el establecimiento de transectos lineales con bandas, que permiten calcular la detectabilidad (mediante observación auditiva y/o visual) y estimar la abundancia, teniendo en cuenta el valor de detectabilidad, aplicando el método de muestreo a distancia (Voříšek et al., 2008).

Al evaluar las tendencias a lo largo de los años, se han estudiado las oscilaciones de algunas especies clave o bioindicadoras, especialmente aves acuáticas sensibles a las alteraciones ambientales, como por ejemplo el martín pescador (*Alcedo atthis*) o el mirlo de agua (*Cinclus cinclus*), entre otros.

130

Mamíferos

En los últimos años esta área de investigación se está enfocando en el desarrollo de un programa de monitoreo de nutrias con el objetivo de evaluar el retorno de esta especie y su presencia y estructura poblacional en el área de estudio. La nutria es un bioindicador confiable de la recuperación de la calidad socioecológica de los sistemas fluviales. El estudio y análisis poblacional de este mustélido tiene implicaciones en el manejo y conservación de los ecosistemas ribereños, además de jugar un papel clave para las iniciativas de concienciación social y ciencia ciudadana.

La nutria europea (*Lutra lutra*) tiene una amplia distribución geográfica natural, siendo pieza muy significativa en el equilibrio ecológico de los ecosistemas fluviales. A partir de la segunda mitad del siglo XX, la población de nutrias sufrió un fuerte declive en gran parte de Europa. En 1990 había desaparecido de casi toda Catalunya, excepto en algunas zonas del Pirineo. Esta disminución fue en respuesta a la alteración antropogénica de los ecosistemas fluviales, y especialmente a la contaminación industrial y sus efectos sobre la disponibilidad trófica (Ruiz-Olmo, 2011). A partir de mediados de los años noventa, la situación mejoró

con la implantación y mejora de los sistemas de tratamientos de las aguas, y la especie se ha recuperado volviendo a gran parte de las cuencas donde había desaparecido, incluidas las cuencas del Besòs y Tordera.

Ante este nuevo escenario, resulta de gran relevancia realizar un estudio que combine el seguimiento y el análisis de la situación actual de esta especie. Los objetivos del seguimiento de la nutria son analizar diferentes aspectos de la ecología de la especie que son determinantes para su establecimiento y reproducción en diferentes tramos de recolonización reciente. Esto incluye el análisis de la idoneidad del hábitat, el estudio de la dieta y la determinación y evaluación de su distribución.

Anfibios y reptiles acuáticos

Los anfibios son interesantes como bioindicadores debido a los complejos requisitos de sus ciclos de vida: la presencia de hábitats acuáticos para la reproducción y su desarrollo larvario, y al mismo tiempo, un hábitat terrestre adecuado para su vida adulta. Además, este grupo es particularmente sensible a los efectos del cambio global, convirtiéndose en un buen indicador de cambios ambientales (Boada et al., 2008; Petitot et al., 2014). El objetivo principal de esta línea de investigación es la evaluación de la riqueza y abundancia de las diferentes comunidades de anfibios y reptiles acuáticos en cursos fluviales y estanques adyacentes. Esta evaluación proporciona información sobre el estado ecológico, las alteraciones ambientales en los sistemas fluviales y las masas de agua circundantes, así como las tendencias en las poblaciones que se ven amenazadas en los últimos años debido a las enfermedades emergentes en los anfibios. Por este motivo, se adoptan procedimientos de bioseguridad en los protocolos de seguimiento.

131

La metodología aplicada se basa en censos auditivos (recuento de cantos nocturnos y observaciones visuales) para detectar e identificar especies por cantos de machos durante la primavera, en la época de reproducción. Se establece un punto de escucha cada 100 metros a lo largo de un transecto de 500 metros en el curso del río, donde se realiza la identificación de especies y la evaluación del número de individuos durante un período de tres minutos. Además, también se evalúan los estanques adyacentes con alta diversidad (HDP). Además de este método, también se realiza un muestreo visual de reptiles acuáticos para detectar diferentes especies como la culebra de collar (*Natrix natrix*), la culebra de agua (*Natrix maura*), la tortuga de agua mediterránea (*Mauremys leprosa*), la tortuga europea (*Emys orbicularis*) y especies no autóctonas como la tortuga de Florida (*Trachemys scripta*).

En referencia a los anuros, se consideran nueve especies: la rana común (*Phelophylax perezzi*/*Phelophylax kl. Grafi*) -que es la más abundante-, la ranita meridional (*Hyla meridionalis*), la rana europea (*Rana temporaria*), el sapo partero común (*Alytes obstetricans*), el sapillo moteado

(*Pelodytes punctatus*), el sapo común (*Bufo spinosus*), la rana pintada (*Discoglossus pictus*) -especie no autóctona cuya población se está expandiendo-, el sapo corredor (*Epidalea calamita*) y el sapo ibérico (*Pelobates cultripes*). Las especies de urodelos en el área de estudio son la salamandra común (*Salamandra salamandra*), el tritón jaspeado (*Triturus marmoratus*) y el tritón palmeado (*Lissotriton helveticus*).

Merecen mención aparte las poblaciones de tritones del Montseny (*Calotriton arnoldi*), ubicadas en zonas específicas de los ríos de la Reserva de la Biosfera del Montseny, en los cursos altos de las cuencas Besòs y Tordera. Esta especie endémica es considerada críticamente amenazada (CR) por la UICN, convirtiéndose en uno de los anfibios más amenazados de Europa con programas de conservación específicos.

Vegetación de ribera

La vegetación de ribera, que se establece en suelos húmedos y productivos a lo largo del curso de ríos y arroyos, es un elemento de estudio esencial para evaluar el estado ecológico de los sistemas fluviales. El papel de los bosques ribereños en la dinámica de los ecosistemas ribereños se puede definir desde un punto de vista multifuncional, ya que tienen implicaciones hidrológicas, ecosistémicas, paisajísticas y económicas. La DMA establece, en el Anexo V, los indicadores de calidad para la clasificación del estado ecológico, uno de los cuales se caracteriza por la composición y abundancia de la flora acuática.

Esta línea de investigación tiene por objetivo la evaluación de la riqueza de especies vegetales, su abundancia y la estructura hidromorfológica de la zona de ribera. El seguimiento a medio y largo plazo de estos parámetros contribuye a la detección de tendencias en el estado de calidad de los ecosistemas ribereños.

Los inventarios de vegetación se realizan aplicando el método fitosociológico de Braun-Blanquet (1979), evaluando la diversidad y abundancia de la flora presente en tres franjas del área de ribera: cauce del río, ribera en la zona de inundaciones ordinarias y ribera en la zona de grandes inundaciones. Las especies no nativas también se consideran en los inventarios, especialmente las especies invasoras, ya que las invasiones biológicas son uno de los componentes más importantes del cambio global y una de las mayores amenazas para la conservación de las especies nativas según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Los sistemas fluviales favorecen la dispersión de especies, incluida la flora exótica, capaces de establecerse en hábitats alterados.

Indicadores hidromorfológicos

El monitoreo del estado hidromorfológico considera el régimen hidrológico (caudal, niveles piezométricos, caudales de mantenimiento, alteración del régimen hidrológico), continuidad

del río y condiciones morfológicas con base en la evaluación de la vegetación ribereña (índice QBR).

El proyecto del Observatori RIVUS propone el uso de percentiles en relación al caudal de mantenimiento para la evaluación de la calidad del régimen hidrológico anual, utilizando datos promedios diarios.

En relación al análisis de la vegetación de ribera como factor de evaluación desde el punto de vista hidromorfológico, se aplica como métrica el índice QBR. El índice QBR (Calidad del Bosque de Ribera) evalúa la calidad del bosque de ribera y el grado de alteración de esta zona en cuatro bloques independientes: grado de cobertura de ribera, estructura de la vegetación, calidad de la cobertura y naturalidad del cauce del río (ACA, 2006).

Indicadores fisicoquímicos

Se evalúa la carga orgánica o carbono orgánico total (COT), la salinidad (concentración de cloruros y conductividad) y la eutrofización (concentración de amonio, nitratos y nitritos). También existe una evaluación química de la calidad del agua basada en el análisis de factores como temperatura, pH, concentración de oxígeno, alcalinidad, sulfatos, cloruros, calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro y manganeso (Figura 5).

133



Figura 5. Imágenes de algunas líneas de investigación del proyecto Observatori RIVUS. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: Cigüeñuela común (*Himantopus himantopus*); monitoreo de anfibios y reptiles acuáticos; pesca eléctrica para el censo de ictofauna; técnica de fototrampeo para el monitoreo de las nutrias. Fuente: Observatori RIVUS.

3.2. Evaluación de la evolución de la calidad ecológica (1997-2017)

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos a lo largo de los años, se realiza un análisis para evaluar la evolución de la calidad ecológica desde 1997 hasta 2017 en las cuencas del Besòs y la Tordera. Para este fin, se consideraron dos indicadores biológicos (IBMWP, macroinvertebrados; IPS, diatomeas) y un indicador hidromorfológico (QBR, vegetación de ribera), debido a disponer de series de datos más longevas y robustas y al ser indicadores incluidos en la DMA.

Para este fin se realizó un análisis estadístico a través del modelo ANCOVA y asumiendo el comportamiento temporal como una tendencia lineal en años. Este análisis consideró tres escalas espaciales diferentes (curso alto, curso medio y curso) y tanto la evolución cuantitativa como la cualitativa según los rangos de calidad ecológica establecidos en la DMA (Tabla I).

Tabla I. Rangos de calidad ecológica establecidos en los protocolos marcados por la Agencia Catalana del Agua.

Rangos de calidad ecológica					
Indicador	Excelente	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo
IBMWP	>90	75-90	55-70	30-50	<25
IPS	>16	13-16	9-12	5-8	<5
QBR	>90	75-90	55-70	30-50	<25

134

De manera general, los resultados del modelo de regresión muestran una mejora muy significativa tanto a nivel cuantitativo como cualitativo de todos los cursos (curso alto, medio y bajo) de las dos cuencas. Aun así, en la mayoría de los sectores, excepto en los cursos altos, la calidad ecológica aún presenta un estado de calidad ecológica considerada como incorrecta, es decir cuando los indicadores marcan valores entre Moderado y Malo (Tabla I).

Por otro lado, en los cursos medios y bajos de la cuenca de la Tordera se observa un descenso de la calidad ecológica en los indicadores IPS y QBR. Este hecho se puede explicar de manera general por la alteración de los hábitats fluviales que han sufrido estos sectores de los ríos a lo largo de los años debido principalmente a la implementación de infraestructuras de movilidad humana (Mas-Ponce, et al., 2021).

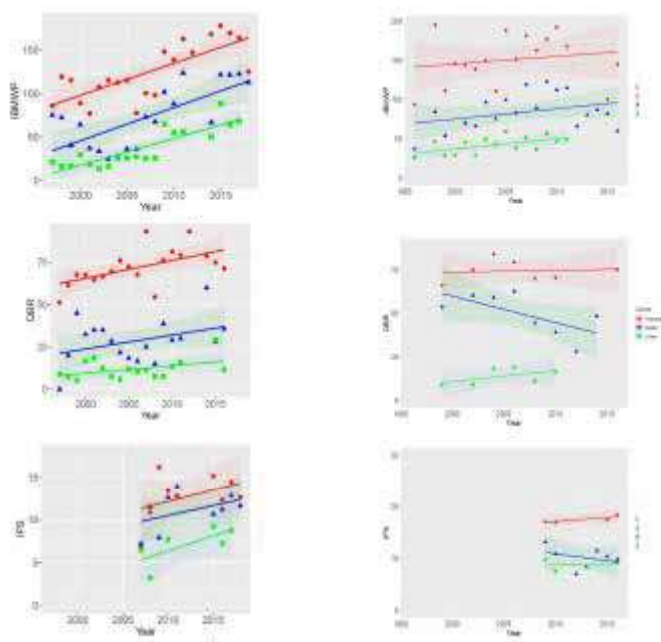


Figura 6. Resultados del modelo ANCOVA para evaluar la evolución de la calidad ecológica de las cuencas Besòs (izquierda) y Tordera (derecha). Fuente: Mas-Ponce, et al., 2021.

3.3. PROECA: El Programa de Educación Ambiental, Comunicación y Formación. Una estrategia pedagógica a través de los sistemas fluviales

En 2004, y en el marco del proyecto del Observatori RIVUS, nace la necesidad de crear una herramienta transversal que contribuye a la reconexión entre sociedad y sistemas fluviales a través de la implementación de una estrategia de transferencia del conocimiento como el Programa de Educación Ambiental, Comunicación y Formación (PROECA). En este sentido, el principal objetivo del PROECA es la transferencia del conocimiento científico obtenido a través de las diferentes líneas de investigación del proyecto del Observatori RIVUS a diferentes esferas de la sociedad a través de diferentes canales según el público objetivo:

- **Ámbito social:** El principal público objetivo de este ámbito se centra en los diferentes niveles educativos (escuelas de educación primaria y secundaria) que se encuentren dentro de las áreas de estudio, en este caso en las cuencas del Besòs y de la Tordera. El PROECA desarrolla diferentes materiales pedagógicos destinados a los diferentes niveles educativos con el objetivo de promover los valores del patrimonio natural, así como su estado de conservación, las prácticas de gestión y los usos históricos y sociales del agua. Estos materiales se suelen acompañar de salidas de campo guiadas por los diferentes investigadores del proyecto a los sistemas fluviales

más cercanos al centro, para así también difundir los protocolos de metodologías de seguimiento y los resultados obtenidos al profesorado y estudiantes.

Además, el PROECA también produce materiales de comunicación, exposiciones itinerantes y materiales audiovisuales para el público en general. Además de estar activos en diferentes medios audiovisuales y en las redes sociales

- **Ámbito científico:** En el ámbito académico, el programa incluye la formación de estudiantes e investigadores que se encuentren realizando prácticas, posgrados, maestrías o doctorados en un amplio abanico de disciplinas distintas.

Por otro lado, desde el PROECA también se incentiva la promoción de artículos científicos que se obtienen a través de los resultados de la propia investigación y el intercambio de metodologías para el establecimiento de un modelo de seguimiento de la evaluación de los indicadores del estado de la calidad de los ríos, extrapolable a otras cuencas mediterráneas.

- **Ámbito político y gubernamental:** Todos los resultados obtenidos a través de las diferentes campañas de seguimiento se sintetizan en informes anuales que se hacen públicos para potenciar la planificación territorial y la gestión integrada de los recursos hídricos en los procesos de toma de decisiones.



Figura 7. Diversas imágenes que muestran algunas de las actividades desarrolladas en el PROECA con el público general y escolares. Fuente: Observatori RIVUS.

El PROECA desarrolla una estrategia de educación ambiental que se contempla en los diferentes ámbitos según el público objetivo, se desarrollan principalmente en tres áreas de acción: **educación formal, educación no formal y educación ambiental informal** (Figuras 7 y 8).



Figura 8. Esquema del Observatori RIVUS, con las diferentes líneas de seguimiento y la estrategia del PROECA. Fuente: elaboración propia a partir de Maneja, R. (2010).

4. CONCLUSIONES

El conocimiento de los valores culturales y naturales asociados a los sistemas fluviales promueve la participación de la sociedad en los procesos participativos y de toma de decisiones, necesarios para desarrollar propuestas exitosas de conservación y manejo (Sánchez-Plaza, 2021; Boada et al., 2008). A través del redescubrimiento del patrimonio socioecológico en torno a los ríos, la sociedad puede involucrarse más en acciones participativas. Las nuevas perspectivas sobre la investigación en educación ambiental y de sostenibilidad se convierten en herramientas estratégicas y efectivas para que la sociedad se comprometa en los desafíos del cambio global.

Desde 1996, el proyecto del Observatori RIVUS lleva a cabo un seguimiento a largo plazo de los indicadores socioecológicos en las cuencas del Besòs y de la Tordera con el fin de evaluar su estado ambiental, liderando protocolos piloto de prueba y estableciendo nuevas metodologías en colaboración con instituciones locales y regionales. El establecimiento de la metodología descrita en este proyecto permite que se pueda replicar este programa de monitoreo a medio y largo plazo a otras cuencas de carácter mediterráneo. En referencia a estos indicadores, se han consolidado diez líneas de investigación, estando cuatro de ellas incluidas en la DMA (2000/60/CE). La promoción de programas de monitoreo a medio y largo plazo como el Observatori RIVUS ha permitido evaluar la evolución de los sistemas fluviales de las cuencas del Besòs y de la Tordera.

El Programa de Educación y Comunicación Ambiental (PROECA) nació como un programa pionero en la implementación de estrategias educativas en la educación formal, no formal e informal. Los participantes disponen de las suficientes herramientas para poder interpretar

los sistemas fluviales a través del estudio de diferentes bioindicadores según el nivel educativo. De esta manera, el PROECA promueve el conocimiento del patrimonio socioecológico de las cuencas y el pensamiento crítico.

Agradecimientos - Este capítulo se ha realizado dentro del marco del proyecto PDI2020-112734RB-C32. Retos, descubrimientos y oportunidades en la Geografía Económica de la post pandemia: el lugar de trabajo, la movilidad y el espacio público en Barcelona. Ministerio de Ciencia e Innovación. Gobierno de España.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agència Catalana de l'Aigua (2006). *BIORI: Protocol d'avaluació de la qualitat biològica dels rius*. Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya.

Agència Catalana de l'Aigua (2006). *HIDRI: Protocol d'avaluació de la qualitat hidromorfològica dels rius*. Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya.

Benejam, L., Carol, J., Benito Granell, J., García-Berthou, E., (2008a). *Les poblacions de peixos de la Tordera*. In Boada M, Mayo S, Maneja R (eds) *Els sistemes socioecològics de la conca de la Tordera*. Institució Catalana d'Història Natural, Barcelona, Catalunya (Spain): 327–344.

Boada, M., Mayo, S., Maneja, R. (eds) (2008). *Els sistemes socioecològics de la conca de la Tordera*. Institució Catalana d'Història Natural, Barcelona, Catalunya (Spain).

Cuddenec, C., Leduc, C., Koutsoyiannis, D., (2007). *Dryland hydrology in Mediterranean regions - a review*. Hydrological Sciences Journal, 52: 1077-1087. <https://doi.org/10.1623/hysj.52.6.1077>.

García-Berthou, E., Bae, M.J., Benejam L., et al, (2016). *Fish-based indices in Catalan Rivers: Intercalibration and comparison of approaches*. In Munné, A., Ginebreda, A., Prat, N., (eds) *Experiences from surface water quality monitoring: The EU water framework directive implementation in the Catalan river basin district (Part I)*. Springer International Publishing, Cham (Switzerland): 125–147

Gomà, J., (2005). *Metodologia per a l'estudi de les diatomees a la conca de la Tordera*. A: L'Observatori. Estació de seguiment de la conca de la Tordera. Boada, M. et al (ed.). Sant Celoni.

Gudmundsson, L., Seneviratne, S.I., (2016). *Anthropogenic climate change affects meteorological drought risk in Europe*. Environmental Research Letters, 11(4), 044005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/4/044005>.

Hermoso, V., Clavero, M., (2011). *Threatening processes and conservation management of endemic freshwater fish in the Mediterranean basin: a review*. Marine and Freshwater Research, 62(3): 244-254. <http://dx.doi.org/10.1071/MF09300>.

Maneja, R., (2010). *La percepció del medio ambiente en grupos infantiles y adolescentes. Comparativa entre la Huacana (Michoacán, México) y la cuenca del río Tordera (NE, Cataluña)*. PhD thesis. Universitat Autònoma de Barcelona. <https://www.educacion.gob.es/teseo/imprimirFicheroTesis.do?idFichero=wHG%2FqxXPdq%3D>.

Mas-Ponce, A., Molowny-Horas, R., Pla, E., Sánchez-Mateo, S., (2021). *Assessing the Effects of Wastewater Treatment Plant Effluents on the Ecological Quality Status in a Mediterranean River Basin*. Environ. Process. 8: 533–551. <https://doi.org/10.3390/environments8090093>.

Martin-Vide, J., Duran, M., Busto, M., Pascual, J., Camins, J., (2016). *Evolució recent de la temperatura, la*

precipitació i altres variables climàtiques a Catalunya. Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya. http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/tercer-informe-sobre-canvi-climatic-catalunya/TERCER_INFORME_CANVI_CLIMATIC_web.pdf.

Muñoz-Mas, R. & García-Berthou, E. (2020): *Línia de seguiment de peixos. Memoria 2020*. Report. Observatori RIVUS.

Petitot, M., Manceau, N., Geniez, P., & Besnard, A., (2014). *Optimizing occupancy surveys by maximizing detection probability: application to amphibian monitoring in the Mediterranean region*. Ecology and evolution, 4(18): 3538–3549. <https://doi.org/10.1002/ece3.1207>

Ruiz-Olmo, J., (2011). *Factors affecting otter (Lutra lutra) abundance and breeding success in freshwater habitats of the northeastern Iberian Peninsula*. European Journal of Wildlife Research, 57: 827–842.

Rosenberg, DM., Resh, VH., (1993): *Introduction to freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. In: Rosenberg DM i Resh VH (eds) *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Chapman & Hall, New York: 1-9.

Sánchez-Mateo, S., Mas-Ponce, A., Gordillo, J., Guardia, A., Pino, J., Boada, M. (2017). *Avaluació de l'estat de qualitat dels cursos fluvials de la conca del Besòs (1997–2017)*. Consorci Besòs Tordera. <https://besos-tordera.cat/qui-som/estudis-i-projectes/>.

Sánchez-Plaza A., Broekman A., Retana J., Bruggeman A., Giannakis E., Jebari S., Krivograd-Klemenčič A., Libbrecht S., Magjar M., Robert N., Verkerk Pieter J. (2021). *Participatory evaluation of water management options for climate change adaptation in river basins*. Environments 8(9):93. <https://doi.org/10.3390/environments8090093>

Vega, M., Pardo, R., Barrado, E., Deban, L., (1998). *Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis*. Water Research, 32 (12), 3581- 3592. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00138-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00138-9).

Voříšek P., Klvaňová A., Wotton S., Gregory, RD., eds. (2008). *A Best Practice Guide for Wild Monitoring Schemes*. CSO/RSPB.