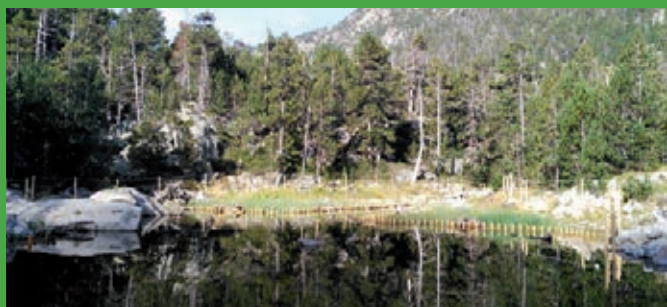


La investigació al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici

**XI Jornades
sobre Recerca
al Parc Nacional
d'Aigüestortes
i Estany de
Sant Maurici**

**Boí (Alta Ribagorça)
17, 18 i 19 d'octubre de 2018**



Generalitat de Catalunya
Departament de Territori
i Sostenibilitat



Parc Nacional
d'Aigüestortes
i Estany de Sant Maurici



investigac

Parc Nacio

igüestort

stany de

nt Maurici



Foto: Sorelló



Foto: Sorelló



Foto: CEAB-SCIS



Foto: Sorelló

Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat

Fotos portada (de dalt a baix): Jesús Tartera Orteu, Empar Carrillo Ortuño, Jesús Tartera Orteu, Jesús Tartera Orteu i Jesús Tartera Orteu

Foto contraportada: Jesús Tartera Orteu

Tiratge: 600 exemplars

Disseny: Aran Disseny

Dipòsit Legal: B 24078-2019

ISBN 978-84-393-9944-5





Foto: Sorelio

La investigació al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici

XI Jornades sobre Recerca al Parc Nacional
d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici

Boí (Alta Ribagorça), 17, 18 i 19 d'octubre de 2018



Generalitat de Catalunya
Departament de Territori
i Sostenibilitat



Parc Nacional
d'Aigüestortes
i Estany de Sant Maurici



Foto: Sorelló

Sumari

- Presentació** 7
- Conservació en un món en canvi, una reflexió a partir d'Aigüestortes** 9
Jordi Catalan, Josep M. Ninot, M. Mercè Aniz
- Umbrales ambientales de microeucariotas planctónicas en lagos de los Pirineos** 17
Rüdiger Ortiz-Álvarez, Jordi Catalán, Lluís Camarero,
Xavier Triadó-Margarit, Emilio O. Casamayor
- Un estudio dinámico de las comunidades microbianas del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici: oportunidades para la conservación** 23
Vicente J. Ontiveros, Joan Cáliz, Xavier Triadó-Margarit, Emilio O. Casamayor, David Alonso
- Observacions atmosfèriques de CO₂ al Parc d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici** 31
Roger Curcoll, Lluís Camarero, Montse Bacardit, Alba Àgueda,
Claudia Grossi, Esperança Gacia, Anna Font, Josep Anton Morguí
- Anàlisi de contaminants orgànics a l'aire i les aigües dels estanys d'alta muntanya del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici** 43
Barend L. van Drooge, Raimon M. Prats, Pilar Fernández, Joan O. Grimalt

Sumari

- 53 Las truchas de los lagos de alta montaña como organismos centinela de los impactos de la contaminación global**
Pilar Fernández, Raimon M. Prats, Barend L. van Drooge, Joan O. Grimalt, Benjamín Piña, Claudia Sanz, Marta Casado
- 63 Sobrepastura a les molles dels Pirineus: l'exclusió ramadera com a estratègia de conservació passiva**
Eulàlia Pladevall-Izard, Aaron Pérez-Haase, Jaume Espuny, Nil Escolà, Empar Carrillo, Josep Maria Ninot
- 73 Impacte del barb roig en els prats submergits d'*isoetes lacustris* dels estanys dels Pirineus**
Esperança Gacia, Teresa Buchaca, Ibor Sabas, Enric Ballesteros, Marc Ventura
- 85 Seguimiento y caracterización de los rebaños en los últimos diez años en el Parque Nacional de Aigüestortes y Estany de Sant Maurici**
Mercè Aniz i Montes, María Jesús González, Jesús Llorente, Alfonso San Miguel Ayanz, Rosario Fanlo, Marc Taüll, Nicolás Espinos
- 99 La dinámica de ecotonos forestales subalpinos en el Parque Nacional de Aigüestortes y Estany de Sant Maurici indica una expansión del abeto a costa del pino negro**
J. Julio Camarero Martínez, Gabriel Sangüesa-Barreda
- 109 L'expansió d'arbustos en prats subalpins al Pirineu central redueix la qualitat del sòl i modifica l'estructura de les comunitats fúngiques**
Oriol Grau, Karita Saravesi, Josep M. Ninot, József Geml, Annamari Markkola, Saija H.K. Ahonen, Josep Peñuelas
- 117 Dinàmica de l'aforestació en molles pirinenques i causes de la seva variabilitat**
Marçal Galobart, Aaron Pérez-Haase, Estela Illa, Albert Ferré, Empar Carrillo, Josep M. Ninot
- 127 Efecte de diferents pressions de depredació en l'estructura i la composició del zooplancton**
Ibor Sabás, Danilo Buñay, Alexandre Miró, Víctor Osorio, Teresa Buchaca, Quim Pou-Rovira, Marc Ventura
- 135 Factors que expliquen la composició de la comunitat de macroinvertebrats litorals als estanys del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici**
Víctor Osorio, Maria Àngels Puig, Teresa Buchaca, Alexandre Miró, Quim Pou-Rovira, Ibor Sabás, Marc Ventura
- 145 Canvis en els estanys a partir de la reducció de les densitats de peixos en el marc del projecte Life Limnopirineus**
Teresa Buchaca, Ibor Sabás, Víctor Osorio, Quim Pou-Rovira, Alexandre Miró, Maria Àngels Puig, Eloi Cruset, Blanca Font, Enric Ballesteros, Marc Ventura

Sumari

- Ràpida recuperació de les poblacions d'amfibis en vuit estanys d'alta muntanya lligada a l'erradicació de peixos introduïts** 163
Alexandre Miró, David O'Brien, Jan Tomàs, Teresa Buchaca, Ibor Sabás, Víctor Osorio, Federica Lucati, Blanca Font, Ismael Jurado, Meritxell Cases, Eloi Cruset, Quim Pou-Rovira, Marc Ventura
- Avaluació de la percepció sobre els ecosistemes aquàtics d'alta muntanya per part de visitants i residents de l'entorn del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici** 177
Francesc Romagosa, Teresa Buchaca, Alexandre Miró, Marc Ventura
- La vegetació de la bassa Nera al llarg de l'holocè a través de macrorestes** 183
Nil Escolà-Lamora, Aaron Pérez-Haase, Oriol Andreu, Ramon Pérez-Obiol, Albert Pèlachs, Joan M. Soriano
- Restauració de molles a la Font Grossa (Espot)** 191
Josep M. Ninot, Aaron Pérez-Haase, Eulàlia Pladevall, Jaume Espuny, Nil Escolà, Jesús Tartera, Empar Carrillo
- Resposta de la vegetació de les congesteres al canvi climàtic** 203
Estela Illa, Artur Lluent, Empar Carrillo
- Les poblacions d'*Abies Alba* a la Mata de València d'Àneu a partir de l'anàlisi i el calibratge pol·línic** 213
Ramon Pérez-Obiol, Joan M. Soriano, Jordi Nadal, Lara Lurbe, Marc Sánchez-Morales, Albert Pèlachs
- Seguiment i ecoepidemiologia de quiròpters del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici** 221
Jordi Serra-Cobo, Marc López-Roig
- Captura i seguiment de l'os bru a l'Alt Pirineu i la Val d'Aran: situació actual de la població als Pirineus i seguiment d'un nou mascle procedent d'Eslovènia** 227
Santiago Palazón, Ivan Afonso, Antoni Batet, Pierre-Yves Quenette, Ramón Jato, Jerome Sentilles, Jean-Jacques Camarra, Cécile Vampé, Joan Rodríguez, Xavier Garreta, Jordi Guillén, Sergio Mir, Salvador Gonçalves, Nicolás Espinós, Aida Parrés, Alba Lorenzo, Lucía Lorenzo
- Ocupacions humanes reiterades al llarg del temps: excavació arqueològica de l'abric de les Obagues de Ratera** 237
Ermengol Gassiot Ballbè, Sara Díaz Bonilla, Niccolò Mazzucco, Laura Obea Gómez, Ignacio Clemente Conte, Manuel Quesada Carrasco, David Rodríguez Antón

Las truchas de los lagos de alta montaña como organismos centinela de los impactos de la contaminación global

Pilar Fernández, Raimon M. Prats, Barend L. van Drooge, Joan O. Grimalt, Benjamín Piña, Claudia Sanz, Marta Casado

Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA-CSIC)

Abstract

Diffuse pollution is a product of industrial and technological development. It has spread worldwide reaching the most remote areas. Consequently, all living beings are exposed to a complex mixture of toxic substances regardless of their habitat. Remote areas are therefore ideal sites for the characterization of the deleterious effects of this background pollution. The present study focuses on the chemical characterization and assessment of the potential toxic effects of diffuse pollution using omic techniques in trout (*Salmo trutta*) samples collected at different high mountain lakes distributed along an altitudinal and temperature gradient within the National Park and its periphery.

Keywords: Diffuse pollution, high mountain lakes, persistent organic pollutants, toxic effects

Resumen

La contaminación difusa, consecuencia no deseada del desarrollo industrial y tecnológico, se ha ido extendiendo por todo el planeta, de manera que actualmente todos los seres vivos se encuentran expuestos a una mezcla compleja de sustancias tóxicas, independientemente de su hábitat. Las áreas remotas son lugares ideales para la caracterización de los efectos nocivos de esta contaminación basal. El presente estudio tiene como objetivo la caracterización y evaluación de los posibles efectos de esta contaminación difusa a través del análisis químico exhaustivo y la aplicación de técnicas ómicas en truchas (*Salmo trutta*) de diferentes lagos del Parque Nacional de Aigüestortes y Estany de Sant Maurici y su periferia, distribuidos en un gradiente vertical de alturas y temperaturas.

Palabras clave: contaminación difusa, lagos de alta montaña, contaminantes orgánicos persistentes, efectos tóxicos.

Introducción

A lo largo del siglo XX tuvo lugar un cambio cualitativo y cuantitativo enorme en el impacto que las actividades humanas ejercían en nuestro planeta y sus ecosistemas. El crecimiento de la población y la consiguiente demanda de recursos energéticos, consecuencia del gran desarrollo técnico e industrial en todos los campos, dio lugar a un incremento muy acusado de la producción y movilización de sustancias tóxicas. De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), la producción global de productos sintéticos y materiales excede los 300 millones de toneladas anuales. Es más, se estima que en la actualidad unos 100.000 compuestos sintéticos, sobre todo orgánicos, se utilizan diariamente y este número aumenta continuamente. Este uso masivo ha generado una capa de contaminación difusa que poco a poco se ha ido extendiendo por todas las regiones del planeta, llegando incluso a aquellas consideradas hasta ahora remotas. Una buena parte de esta distribución en la Tierra se realiza a través de la atmósfera, de modo que los problemas de contaminación que antes se encontraban cerca de los puntos de emisión ahora han alcanzado una escala global. En la actualidad, todos los seres vivos, incluidos los humanos, se encuentran expuestos a esta contaminación difusa independientemente de su hábitat.

Este proceso de contaminación crónica es consecuencia del uso masivo actual de multitud de compuestos tóxicos, pero también del uso pasado de compuestos orgánicos persistentes (COP), en su mayoría compuestos organoclorados (OC), regulados por el Convenio de Estocolmo de 2001 (<http://chm.pops.int>), que prohíbe o restringe su aplicación en la actualidad. Sin embargo, debido a su estabilidad química y biológica, estos compuestos permanecen en el medio ambiente muchos años después de su emisión. Entre estos contaminantes se incluyen compuestos de origen industrial como los policlorobifenilos (PCB) o los polibromodifenil éteres (PBDE), plaguicidas como el DDT o el γ -hexaclorociclohexano (lindano, γ -HCH), y subproductos de los procesos de combustión como las policlorodibenzo dioxinas o furanos. Las propiedades hidrofóbicas de estos compuestos les confieren una tendencia elevada a bioacumularse en los tejidos y lípidos de los seres vivos, provocando su biomagnificación en las

cadena trófica, tanto terrestres como acuáticas (Schindler *et al.*, 1995; Shunthirasingham *et al.*, 2013). De hecho, estos compuestos se han encontrado en muestras de sangre humana y leche materna de poblaciones de zonas urbanas, rurales y remotas (Sjödín *et al.*, 2013; Dewailly *et al.*, 1989). Además, diversos estudios han documentado su transferencia de la madre al feto a través del cordón umbilical o al recién nacido durante la lactancia (Carrizo *et al.*, 2007; Vizcaino *et al.*, 2014).

El estudio de esta contaminación difusa y sus efectos requiere la investigación de zonas remotas, libres de aportes de contaminación locales. Este es el caso de las regiones de alta montaña que constituyen los ecosistemas continentales más remotos. Estas zonas poseen una serie de características meteorológicas, geográficas y orográficas que las hacen especialmente apropiadas para el estudio de los mecanismos de transporte y acumulación de los contaminantes transportados a larga distancia por vía atmosférica. Por otro lado, las zonas de alta montaña son especialmente sensibles a los cambios ambientales globales, por lo que pueden considerarse ecosistemas de referencia para el estudio de la magnitud y los efectos de la contaminación difusa.

Distribución global de COP

Una vez emitidos al medio ambiente, los COP pueden sufrir distintos procesos físicos, químicos y biológicos. En general se trata de intercambios de fase que incluyen volatilizaciones, condensaciones o disoluciones, entre otros (figura 1). Estos procesos están interconectados y, junto con las propiedades fisicoquímicas de los compuestos, determinan el transporte y destino final de estos contaminantes. En 1993, Wania y Mackay propusieron un modelo de distribución de estos compuestos en la Tierra, conocido como *efecto de dilución global*, que predice un aumento de su concentración con la latitud. Dicho modelo propone el transporte de los compuestos semivolátiles, que se encontrarían en forma gaseosa en el aire de las regiones cálidas de la Tierra, hacia latitudes altas y, por lo tanto, más frías (figura 2). Este descenso de la temperatura afectaría a las propiedades de los compuestos, aumentando su tendencia a condensar o adsorberse en las superficies, lo que implicaría su acumulación en zonas de

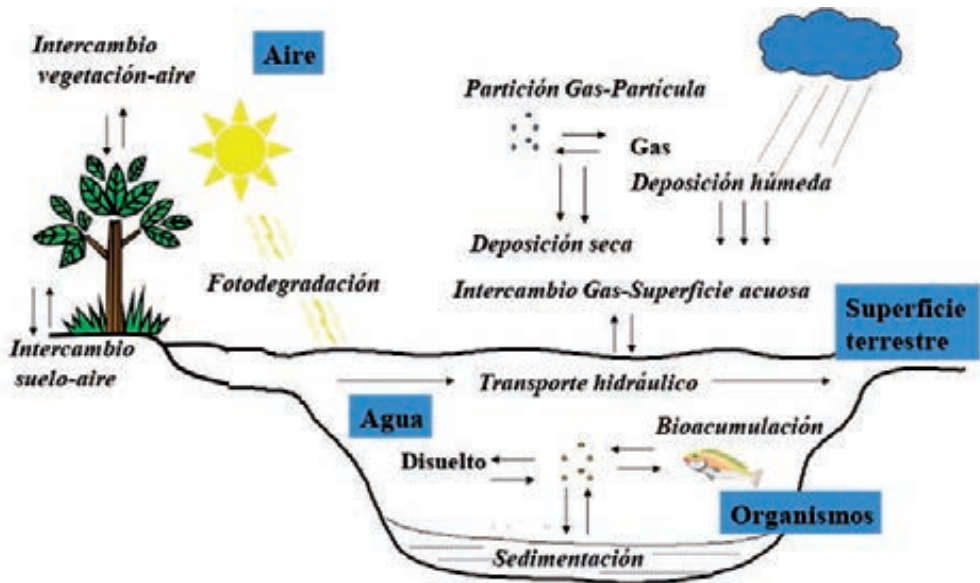


Figura 1. Procesos físicos, químicos y biológicos que determinan la distribución, tiempo de residencia y acumulación de un compuesto orgánico en un ecosistema tipo formado por aire, agua, superficie terrestre y biota.



Figura 2. Representación esquemática de los procesos de transporte y distribución global de COP según el modelo de destilación global (adaptado de Wania y Mackay, 1996).

latitudes altas. Este transporte tendría lugar en pasos sucesivos de volatilización/condensación en función de la temperatura ambiente y estaría favorecido por el movimiento general de las masas de aire de la Tierra, que globalmente arrastra los contaminantes hacia latitudes altas. La distancia a la que se podría transportar cada COP estaría determinada por sus propiedades fisicoquímicas y la temperatura ambiente. El resultado final sería la transferencia neta de estos contaminantes desde

las regiones de emisión situadas a latitudes bajas-medias hacia las zonas frías sin que se observe un efecto de dilución asociado a los procesos de difusión. Estos gradientes de temperatura de la Tierra asociados a la latitud también tienen lugar con los cambios de altitud en latitudes templadas, de modo que se puede hablar de un fenómeno similar en las zonas de alta montaña que provocaría el enriquecimiento de determinados contaminantes en estas regiones.

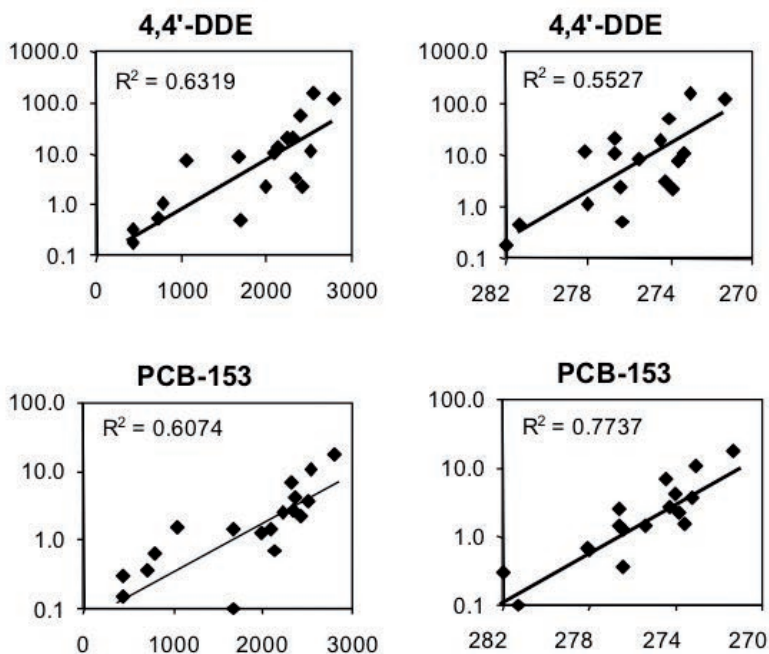


Figura 3. Concentración de diferentes COP en muestras de tejido muscular de truchas de lagos de alta montaña de Europa en función de la altitud y la temperatura ambiente.

Objetivo y antecedentes

Así pues, el objetivo principal de este trabajo de investigación es el estudio de la contaminación por sustancias orgánicas en zonas remotas de latitudes templadas, en concreto las regiones de alta montaña, como ecosistemas clave para la investigación de los efectos de la contaminación difusa.

Estudios previos en truchas de lagos de alta montaña distribuidos por toda Europa mostraron una distribución altitudinal de los niveles de determinados compuestos, de manera que su concentración era mayor en los lagos situados a mayor altitud o, lo que es lo mismo, menor temperatura (figura 3) (Grimalt *et al.*, 2001; Vives *et al.*, 2004a). El aumento de las concentraciones con la altitud era importante, ya que para algunos compuestos las diferencias de concentración eran de tres órdenes de magnitud entre el lago más bajo y el más alto. Esta tendencia altitudinal es coherente con el modelo de destilación global, mostrando que los compuestos cuyas propiedades fisicoquímicas no favorecen su transporte a zonas de latitudes altas tienden a acumularse en las zonas de alta montaña de latitudes templadas (Fernández y Grimalt, 2003).

Sin embargo, la distribución de los compuestos

entre lagos de alta montaña europeos también puede estar influida por variables como la latitud, cercanía a las fuentes o diferencias en la orografía y meteorología entre los puntos de muestreo, además de la temperatura. Un ejemplo de ello lo constituye la diferencia en la distribución altitudinal observada entre los PCB y los PBDE, ambos incluidos en la lista de COP (Vives *et al.*, 2004b). Los PCB se comercializaron en la década de los treinta del siglo pasado y su uso se extendió hasta los años setenta, cuando se prohibieron en la mayoría de países debido a su persistencia y toxicidad, por lo que, treinta años después, sus concentraciones en zonas remotas se encuentran en fase estacionaria y están gobernadas por la temperatura (figura 4). Por el contrario, los PBDE se comercializaron en la década de los setenta, en parte como sustitutos en algunas aplicaciones de los PCB. Su inclusión en la lista de COP y, por lo tanto, su prohibición en la mayoría de países ha tenido lugar en la última década, por lo que sus concentraciones en el aire están todavía afectadas por las emisiones regionales, que enmascaran los efectos provocados por las diferencias de temperatura, tal y como se observa en la figura (4).

El estudio de lagos situados en gradientes

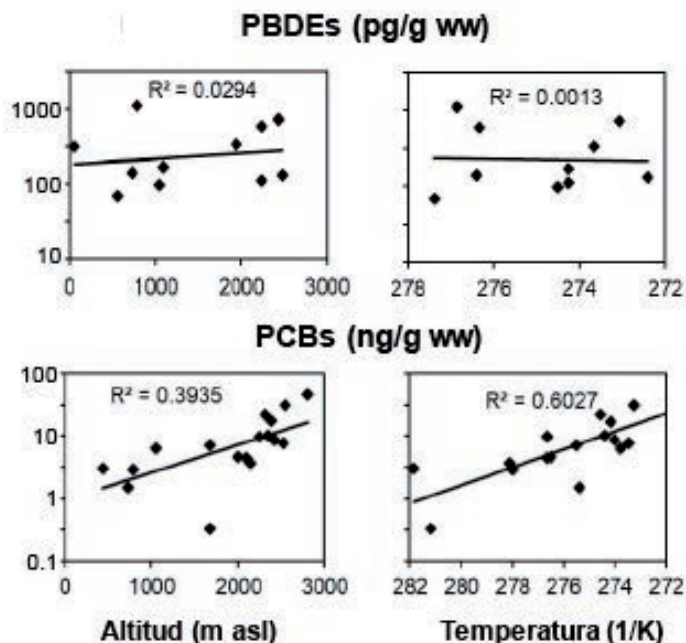


Figura 4. Diferencias en la distribución de los niveles de PCB y PBDE en muestras de tejido muscular de truchas de lagos de alta montaña de Europa.

verticales permite investigar el efecto de la temperatura sin la influencia de estas diferencias entre regiones de alta montaña. Esta aproximación se ha utilizado recientemente en diferentes zonas de alta montaña de Europa como los Pirineos, Alpes y montes Tatra (Gallego *et al.*, 2007).

En el caso concreto de los Pirineos, todos los lagos seleccionados se encontraban en el Parque Nacional de Aigüestortes y Estany de Sant Maurici

y zona periférica, a lo largo de un gradiente altitudinal entre 1.620 m s. n. m. (lago Llebreta) y 2.688 m s. n. m. (Vidal d'Amunt) (figura 5).

El análisis de los niveles de PBDE en las truchas de estos lagos mostró la existencia de una correlación positiva entre las concentraciones de estos compuestos y la altitud (figura 6), al contrario de los resultados obtenidos en estudios anteriores (Vives *et al.*, 2004b).

Efectos nocivos de la contaminación difusa

Además de los niveles de contaminantes y su distribución, los estudios realizados también han evaluado los efectos tóxicos que la presencia de estos compuestos puede generar en los organismos que habitan en estas zonas. El estudio de los efectos es especialmente relevante porque muchos de los componentes de la contaminación difusa no tienen equivalentes en el medio natural. A escala evolutiva, los organismos vivos, incluidos los humanos, nunca estuvieron expuestos a ellos y, por lo tanto, su metabolismo no tiene mecanismos específicos para su eliminación.

En los lagos de alta montaña, los organismos superiores de la cadena trófica son peces del género *Salmonidae*. Como se ha indicado anteriormente, estos organismos bioacumulan los contaminantes

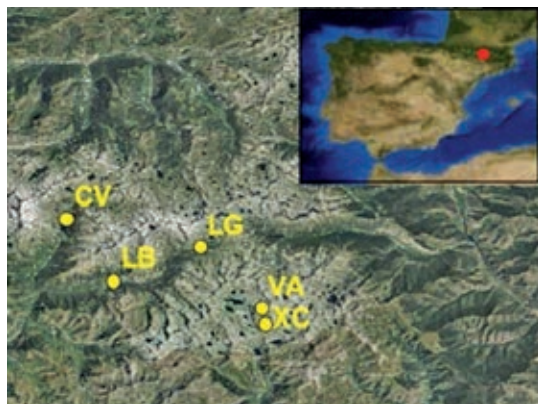


Figura 5. Situación de los lagos estudiados. Identificación: LB, Llebreta; LG, Llong; CV, Cavallers; XC, Xic de Colomina; VA, Vidal d'Amunt.

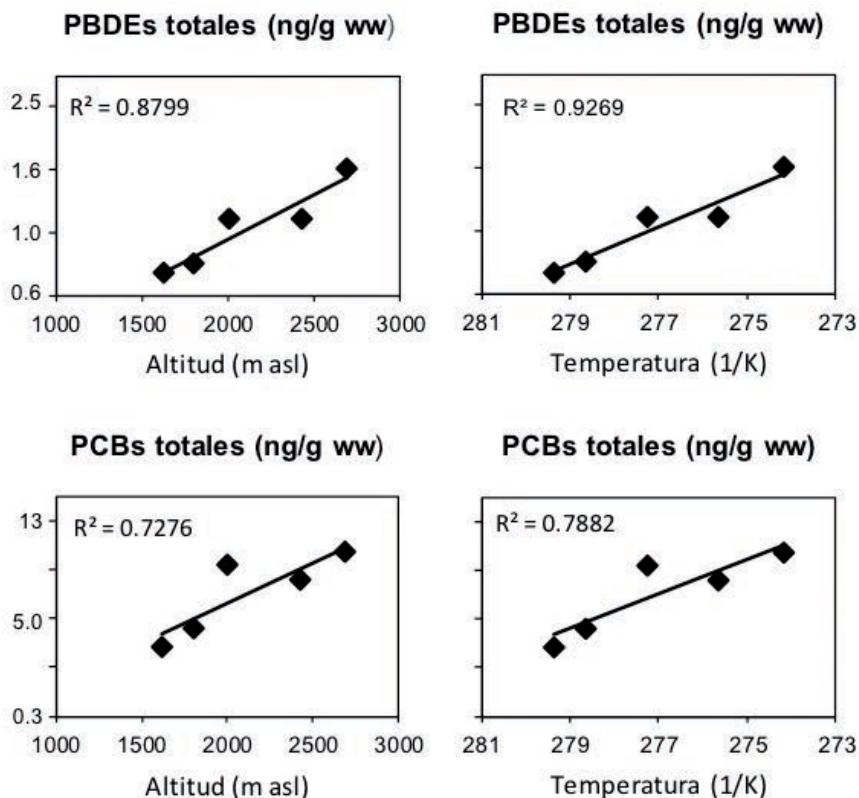


Figura 6. Distribución altitudinal de los niveles de PBDE y PCB en muestras de tejido muscular de truchas de lagos seleccionados a lo largo de un gradiente altitudinal en el Parque Nacional de Aigüestortes y Estany de Sant Maurici.

que se depositan en estos sistemas acuáticos. Por otro lado, en el contexto de la toxicidad en humanos, existe actualmente la tendencia a utilizar peces como modelos de toxicidad en vertebrados, aprovechando los métodos de genética molecular, para investigar los modos de acción de los contaminantes entre diferentes grupos taxonómicos. Así pues, las truchas que habitan estos lagos son organismos centinela ideales para el estudio de la acumulación y los efectos provocados por la contaminación difusa.

En estudios anteriores se investigó la presencia de actividad estrogénica en extractos de tejido muscular de truchas de lagos de montaña europeos utilizando levaduras recombinantes. Estos ensayos indicaron que las concentraciones a las que se encontraban los COP en estos organismos eran suficientes para dar lugar a una actividad estrogénica (García-Reyero *et al.*, 2007). Sin embargo, la presencia de estas actividades no necesariamente implica la inducción de un efecto nocivo sobre el organismo. Identificar estos efectos es importante porque supone una evidencia de que la contaminación difusa, a la

que estamos sometidos todos los seres vivos, es capaz de provocar efectos nocivos a pesar de que las concentraciones detectadas sean muy bajas. El avance de las técnicas de genética molecular ha permitido observar por primera vez los efectos biológicos de la contaminación ambiental directamente en los peces que habitan estos lagos de alta montaña. Estas técnicas permitieron, por ejemplo, observar en truchas macho las consecuencias fisiológicas de la actividad estrogénica detectada anteriormente, mediante el análisis de la expresión de genes propios del ciclo reproductor de las hembras (receptor de estrógenos, vitelogenina y proteína de la zona radiata), indicando que estos organismos están sometidos a un estrés de feminización (Árque *et al.*, 2015). Anteriormente se habían descrito efectos de feminización en peces que vivían en ríos con un fuerte impacto de contaminación (Solé *et al.*, 2003), pero los resultados obtenidos en los lagos de alta montaña mostraron por primera vez que los efectos de disrupción endocrina relacionados con la contaminación difusa que resulta de las actividades antropogénicas alcanzan

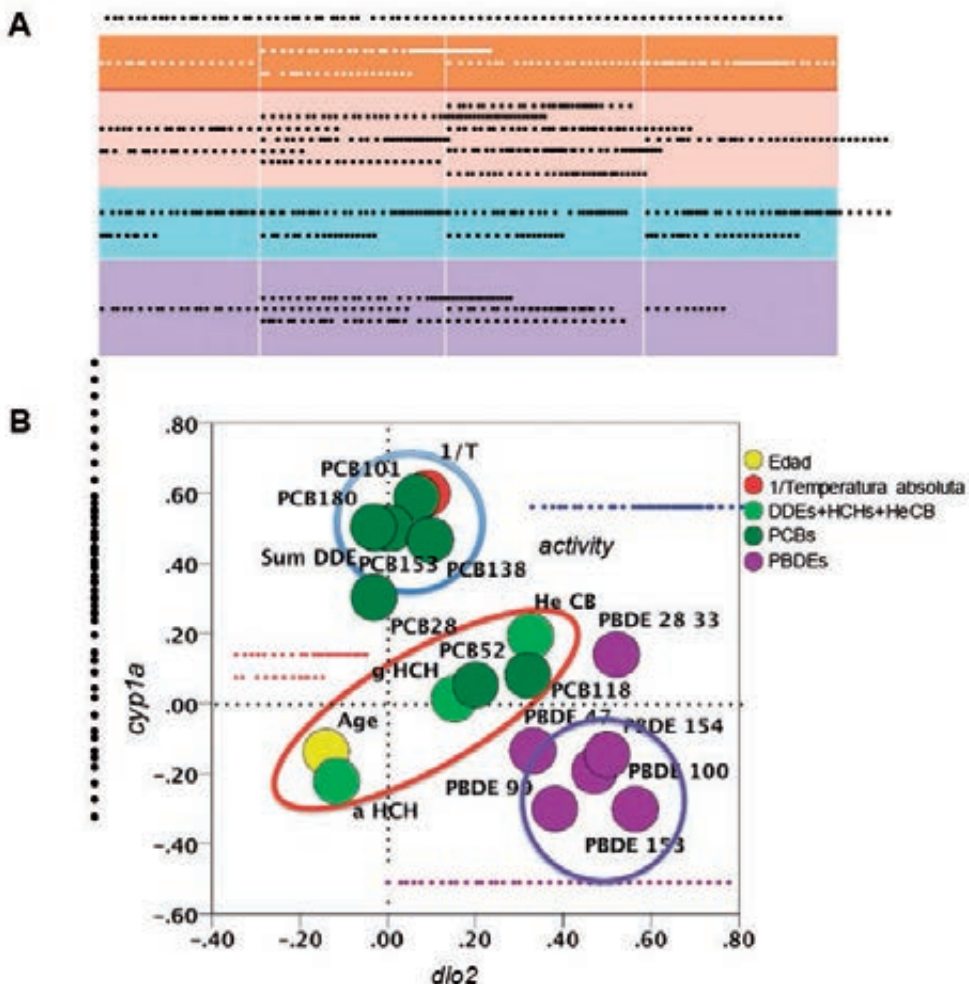


Figura 7. Resumen de los efectos tóxicos encontrados en peces de alta montaña y su relación con la contaminación difusa. A: tabla general; B: correlación de distintos compuestos con los niveles de expresión de *cyp1a* (ordenadas). Los óvalos agrupan los compuestos correlacionados con actividad *dioxin like* (azul), estrogenicidad en machos (rojo) y disrupción tiroidea (morado). Otros parámetros, como la edad de los peces y la temperatura media anual de los lagos donde fueron capturados (expresada como el inverso de la temperatura absoluta), están representados por los puntos amarillo y rojo, respectivamente.

las zonas remotas. Con la misma metodología, se detectaron al menos otras dos actividades biológicas (expresión génica del p450 1A y de las deiodinasas hepáticas), también relacionadas con la contaminación ambiental difusa, en este caso probablemente ligadas a la presencia de OC y PBDE, respectivamente (á rque *et al.*, 2010, 2014). La figura 7 muestra un resumen de los resultados obtenidos previamente, así como una lista de los genes y las actividades biológicas que se incluyen en estos estudios.

Proyecto CUANTOX

Estos antecedentes sugerían una asociación entre los efectos observados y los niveles de determinados COP. Sin embargo, dado el número limitado de compuestos estudiados, no se puede establecer con seguridad la relación causa-efecto con estos contaminantes, por lo que en el marco del proyecto CUANTOX¹ se ha planteado la caracterización química lo más completa posible de la contaminación difusa, con el fin de determinar cuáles son los componentes que presentan

1. ¿Cuán tóxica es la contaminación difusa? Proyecto de investigación CTM2015-71832-P. Ministerio de Economía y Competitividad.



Figura 8. Situación de los lagos estudiados. Identificación: LB, Llebreta; LG, Llong; SE, Sarradé; DL, Dellui; CO, Collada; RD, Redon.

mayor toxicidad. En concreto, se ha abordado el estudio de otras sustancias químicas de uso intensivo en agricultura, como algunos herbicidas y pesticidas organofosforados. En estos casos, aunque dichos compuestos no son tan estables y se degradan en el medio ambiente, el uso masivo que se hace de ellos da lugar a que los procesos de degradación ambiental no puedan eliminar completamente las cantidades introducidas antes de que contribuciones nuevas vuelvan a añadir compuesto. Para ello, se están aplicando técnicas instrumentales avanzadas para el análisis y la identificación de las sustancias químicas presentes, en combinación con los ensayos biológicos antes mencionados, en truchas de lagos del Parque Nacional de Aigüestortes y Estany de Sant Maurici y zona periférica. Los lagos seleccionados son los indicados en la figura 8; todos ellos son de origen natural y están situados lejos de las fuentes locales de contaminación a lo largo de un gradiente altitudinal, entre 1.620 m s. n. m. (Llebreta) y 2.453 m s. n. m. (Collada). Su hidrología depende básicamente de la precipitación atmosférica.

En septiembre del 2017 se llevó a cabo la recogida de especímenes, obteniéndose una media de 15 ejemplares de trucha común (*Salmo trutta*) por lago de entre 10 y 50 cm de longitud y 8-15 años



Figura 9. Tejidos y órganos muestreados para cada tipo de análisis en truchas capturadas en los lagos del parque nacional.

de edad (calculada *a posteriori* por examen de los otolitos). Para cada organismo se determinó el sexo, la medida de peso y longitud y se tomaron muestras de tejido muscular, hepatopáncreas y vesícula biliar (figura 9).

Los resultados preliminares de los análisis biológicos confirman la correlación entre los genes de respuesta a estrógenos (receptor de estrógenos, *zrp1*, vitelogenina) y el estadio reproductor en hembras, pero no en machos, y el gradiente térmico/altitudinal observado previamente para la expresión del citocromo *cyp1a*, probablemente relacionado con los niveles de distintos contaminantes persistentes (Jarque *et al.*, 2010) (figura 10). El estudio exhaustivo de los datos biológicos obtenidos, en combinación con los resultados de los análisis químicos que se están realizando en la actualidad, supondrá un avance importante en la caracterización de la composición de la contaminación difusa y sus posibles efectos sobre la población. Hay que tener en cuenta que esta contaminación difusa determina el nivel de base al que están expuestos todos los organismos, por lo que el estudio de los efectos de los contaminantes presentes es de gran interés también en el contexto de la toxicidad en humanos.

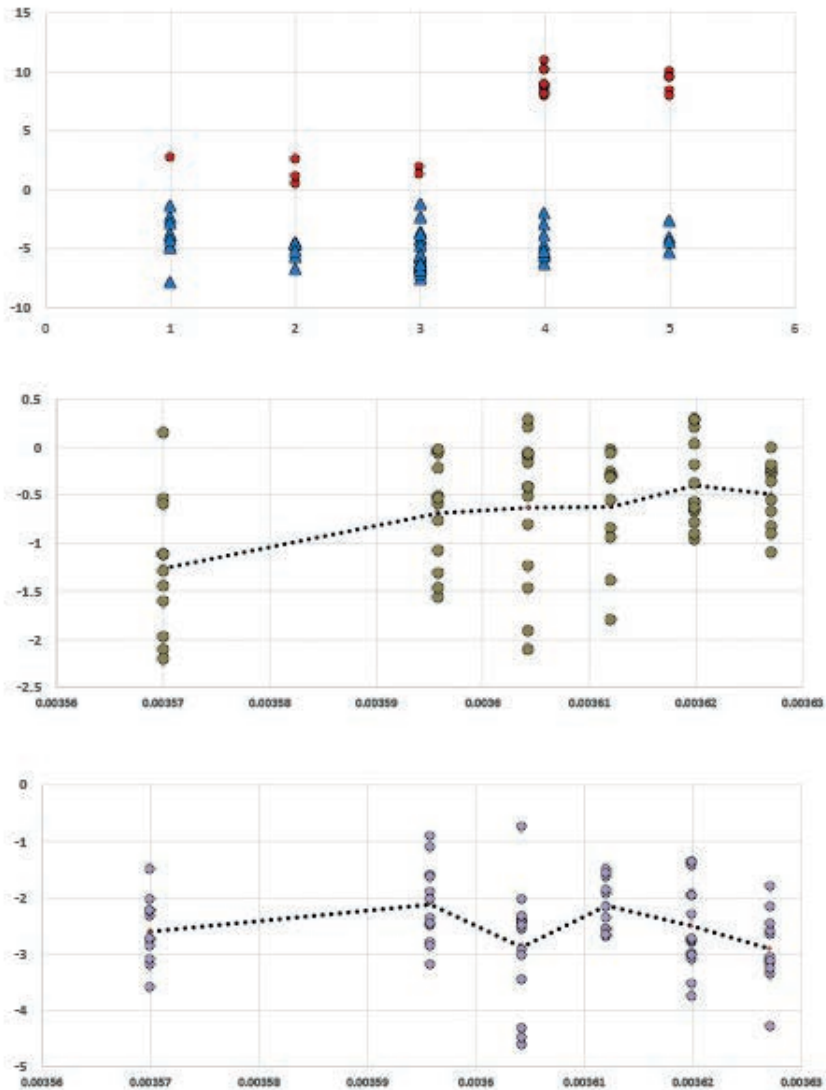


Figura 10. Resultados de expresión génica para las truchas de los Pirineos dentro del proyecto CUANTOX. Los gráficos muestran las correlaciones entre los niveles de expresión de los genes y diferentes parámetros fisiológicos y ambientales. A: correlación entre los niveles de expresión de *zrp1* (proteína de zona radiata) y el estadio reproductivo, desde 1, gónadas indiferenciadas, hasta 5, gónadas maduras, para hembras (rojo) y machos (azul). B y C: relación entre la temperatura del aire en verano para los diferentes lagos y los niveles hepáticos de los genes *cyp1a* (B) y *dio2* (C) de las poblaciones de peces. Las temperaturas se expresan como el inverso de los valores absolutos. Nótese el gradiente negativo (a mayor temperatura, menor expresión) para *cyp1a*, como se ha descrito anteriormente.

Bibliografia

- CARRIZO D., GRIMALT J. O., RIBAS-FITO N., SUNYER J., TORRENT M. 2007. Influence of Breastfeeding in the Accumulation of Polybromo- diphenyl Ethers during the First Years of Child Growth. *Environmental Science and Technology*, 41, 4907-4912.
- DEWAILLY É., NANTEL A., WEBER J.-P., MEYER F. 1989. High levels of PCBs in breast milk of Inuit women from Arctic Québec. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 43,641-646.
- FERNÁNDEZ P., GRIMALT J.O. 2003. On the global distribution of persistent organic pollutants. *Chimia*, 57, 514-521.
- GALLEGO E., GRIMALT J.O., BARTRONS M., LÓPEZ J. F., CAMARERO L., CATALAN J., STUCHLIK E., BATTARBEE R., 2007. Altitudinal Gradients of PBDEs and PCBs in Fish from European High Mountain Lakes. *Environmental Science and Technology*, 41, 2196-2202.
- GARCÍA-REYERO, N., VIVES, I., FERNÁNDEZ, P., GRIMALT, J.O., PIÑA, B. 2007. Endocrine disruption activity associated to organo-chlorine compounds in fish extracts from European Mountain Lakes. *Environmental Pollution*, 145, 745-752.
- GRIMALT J.O., P. FERNÁNDEZ, L. BERDIÉ,, R. VILANOVA, J. CATALAN, R., PSENNER, R. HOFER, P.G. APPLEBY, L. LIEN, B.O. ROSSELAND, J.C. MASSABUAU Y R.W. BATTARBEE, 2001. Selective trapping of organochlorine compounds in mountain lakes of temperate areas. *Environmental Science and Technology*, 35, 2690-2697.
- JARQUE S., QUIRÓS L., GRIMALT J.O., GALLEGO E., CATALAN J., LACKNER R., PIÑA B. 2015. Background fish feminization effects in European remote sites. *Nature Scientific Reports*, 5, 11292.
- JARQUE S., GALLEGO, E., BARTRONS, M., CATALAN, J., GRIMALT, J.O., PIÑA, B. 2010. Altitudinal and thermal gradients of hepatic Cyp1A gene expression in natural populations of *Salmo trutta* from high mountain lakes and their correlation with organohalogen loads. *Environmental Pollution*, 158, 1392-1398
- JARQUE S., BOSCH, C., CASADO, M., GRIMALT, J.O., RALDÚA, D., PIÑA, B. 2014. Analysis of hepatic deiodinase 2 mRNA levels in natural fish lake populations exposed to different levels of putative thyroid disrupters. *Environmental Pollution*, 187, 210-213.
- SCHINDLER D.W., KIDD K.A., MUIR D.C.G., LOCKHART W.L. 1995. The effects of ecosystem characteristics on contaminant distribution in northern freshwater lakes. *Science of the Total Environment*, 160/161, 1-17.
- SJÖDIN A., JONES R. S., CAUDILL S.P., WONG L.Y., TURNER W. E., CALAFAT A. M. 2013. Polybrominated Diphenyl Ethers, Polychlorinated Biphenyls, and Persistent Pesticides in Serum from the National Health and Nutrition Examination Survey: 2003–2008. *Environmental Science and Technology*, 48, 753-760.
- SHUNTHRASINGHAM CH., WANIA, F., MACLEOD, M., LEI, Y., QUINN, C. L., ZHANG, X., SCHERINGER, M., WEGMANN, F., HUNGERBÜHLER, K., IVEMEYER, S., HEIL, F., KLOCKE, P., PACEPAVICIUS, G., ALAEE, M. 2013. Mountain Cold-Trapping Increases Transfer of Persistent Organic Pollutants from Atmosphere to Cows' Milk. *Environmental Science and Technology*, 47, 9175-9181.
- SOLÉ M., RALDUA D., PIFERRER F., BARCELÓ D., PORTE C. 2003. Feminization of wild carp, *Cyprinus carpio*, in a polluted environment: Plasma steroid hormones, gonadal morphology and xenobiotic metabolizing system. *Comparative Biochemistry and Physiology-C Toxicology and Pharmacology*, 136, 145-156.
- VIVES I., GRIMALT J.O., CATALAN J., ROSSELAND B., BATTARBEE R. 2004a. Influence of altitude and age in the accumulation of organochlorine compounds in fish from high mountain lakes. *Environmental Science and Technology*, 38, 690-698.
- VIVES, I., GRIMALT, J.O., LACORTE, S., GUILLAMON, M., BARCELO B., ROSSELAND, B.O. 2004b. Polybromodiphenyl ether flame retardants in fish from lakes in European high mountains and Greenland. *Environmental Science and Technology*, 38, 2338-2344.
- VIZCAINO E., GRIMALT J.O., FERNÁNDEZ-SOMOANO A., TARDON A. 2014. Trans-port of persistent organic pollutants across the human placenta. *Environment International*, 65, 107-115.
- WANIA F., MACKAY, D. 1993. GLOBAL FRACTIONATION and cold condensation of low volatility organochlorine compounds in Polar Regions. *Ambio*, 22, 10-18
- WANIA F., MACKAY, D. 1996. Tracking the distribution of persistent organic pollutants. *Environmental Science and Technology*, 30, 390A-396A.



La investigació al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici

XI Jornades sobre Recerca
al Parc Nacional d'Aigüestortes
i Estany de Sant Maurici

Boí (Alta Ribagorça), 17, 18 i 19 d'octubre de 2018

