



# Biodiversitat de plecòpters i efemeròpters al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici

**Maria Àngels Puig,<sup>1</sup> Valentina Amore,<sup>1,3</sup> Nicolás Ubero-Pascal,<sup>2</sup> Romolo Fochetti<sup>3</sup>**

1. Centre d'Estudis Avançats de Blanes (CSIC), Biogeodynamics & Biodiversity Research Group, Accés Cala Sant Francesc, 14, 17300 Blanes

2. Departament de Zoologia, Facultat de Biologia, Universitat de Múrcia

3. Institut de Zoologia, Universitat de Tuscia a Viterbo (Itàlia)

## Abstract

The diversity of stoneflies and mayflies is being studied in the river network of Aigüestortes and Estany de Sant Maurici National Park as indicators of the global change effects on aquatic macroinvertebrates in high mountains. The results obtained, compared with precedent works by other authors, show that some lower-altitude species have already extended their distribution upstream, while others such as the species of the genus *Rhithrogena* have reduced their distributions, at their lower and upper limits, making clear a double change, due to the combined effect of temperature increase and reduction of flow in the headwaters.

**Keywords:** Stoneflies, mayflies, streams, biodiversity, altitude, global change

## Resum

La biodiversitat dels plecòpters i els efemeròpters s'està estudiant als rius del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici com a indicadora dels possibles efectes que el canvi global pot tenir en les comunitats de macroinvertebrats aquàtics d'alta muntanya. Els nostres resultats, comparats amb treballs d'altres autors, mostren que algunes espècies d'altituds inferiors ja han estès la seva distribució aigües amunt, mentre que d'altres com ara les espècies del gènere *Rhithrogena* han vist reduïts els seus límits altitudinals, tant inferiors com superiors, cosa que remarca un doble canvi degut a l'efecte tant de l'augment de la temperatura com de la reducció de cabals a les capçaleres.

**Paraules clau:** Plecòpters, efemeròpters, rius, biodiversitat, altitud, canvi global

## Introducció

Aquest estudi pretén esbrinar l'impacte que el canvi climàtic pot haver tingut en els ecosistemes fluvials del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (PN-Aigüestortes, a partir d'ara) fins ara, com a exemple de la resposta dels rius pirinencs davant d'aquest procés. Però en realitat el canvi climàtic ha estat potenciat/acompanyat per diferents canvis en els usos del sòl i de l'aigua en les conques pirinenques; concretament, dins del PN-Aigüestortes es troben afectats per regulació hidrològica part dels llacs de capçalera i amb derivacions d'aigua alguns trams de riu (Catalán i Vilalta, 1997), de manera que els cabals de part dels rius que surten d'aquests llacs es troben modificats per l'ús hidroelèctric de les seves conques, igual que els trams amb derivacions. Aquesta gestió fa que calgui considerar els possibles efectes del canvi climàtic dins del canvi global (figura 1), encara que sense introduir altres efectes com ara l'augment dels nutrients, ja que la regulació d'usos dins del territori del PN-Aigüestortes no ho fa necessari de moment.

Com a indicadors d'aquests canvis cal seleccionar organismes especialment sensibles als seus

efectes en el medi fluvial, sobretot davant l'augment de les temperatures i la reducció de cabals (figura 1). És per aquest motiu que s'han triat els plecòpters, atès que molts d'ells es corresponen amb espècies estenotermes fredes, a més d'incloure un nombre elevat d'endemismes pirinencs amb distribucions molt reduïdes. Per la seva banda, els efemeròpters han estat seleccionats perquè inclouen espècies més estrictament reòfiles, especialment les del gènere *Rhithrogena*, que són estenotermes fredes i reòfiles estrictes. També cal tenir en compte que s'ha descobert recentment la presència de proteïnes respiratòries en plecòpters (Burmester, 2004; Fochetti *et al.*, 2006), fet que podria representar un avantatge davant la reducció d'oxigen dissolt que es pot produir com a resposta indirecta del canvi global en ecosistemes fluvials. Ambdós grups conjuntament permeten valorar els efectes que la variació en les temperatures o en els cabals té en la distribució altitudinal de les espècies, com també en l'estructura de les seves comunitats. Cal recordar que plecòpters i efemeròpters són considerats grups indicadors de bona qualitat dels ecosistemes fluvials (Lenat, 1993; Barbour *et al.*, 1999).

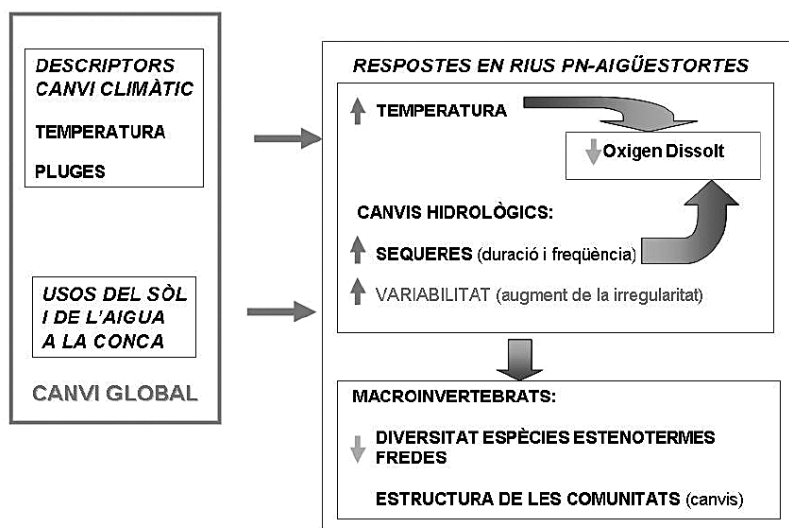


Figura 1. Diagrama del canvi global als rius del PN-Aigüestortes.

Aquest treball forma part del projecte MAYSTONS, encara sense concloure, que pretén conèixer la fragilitat de les comunitats de plecòpters i efemeròpters tenint en compte la tolerància de les espècies davant l'augment de les temperatures, la reducció de cabals, el dèficit d'oxigen dissolt i el canvi en els recursos alimentaris disponibles, com també de l'aïllament de les seves poblacions. Dins d'aquesta perspectiva més àmplia, aquest treball estudia la biodiversitat de plecòpters i efemeròpters, els canvis produïts en la distribució altitudinal d'algunes espècies indicadores i quines espècies de plecòpters presents al PN-Aigüestortes posseeixen pigments respiratoris (hemocianines) com a preadaptació davant els efectes indirectes del canvi global.

### Antecedents

Bona part dels treballs fets als Pirineus per tal de conèixer la seva fauna de plecòpters i efemeròpters han estat realitzats només al vessant francès (Berthélemy, 1966), o són revisions que recullen la diversitat d'alguna família concreta d'aquests ordres a partir de múltiples treballs d'altres autors (Vinçon i Ravizza, 2001). També es troba informació general en els reculls biogeogràfics de les faunes de França (Thomas i Masselot, 1996) i d'Espanya (Alba-Tercedor, 1981;

Sánchez-Ortega *et al.*, 2002). Malauradament, tant en aquests treballs com en l'estudi general fet per als rius catalans (Puig, 1984), bona part de la xarxa fluvial del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici no ha estat inclosa, encara que aquest darrer inclou altres conques dels Pirineus lleidatans i andorrans amb rangs altitudinals similars.

Cal arribar fins al final dels anys noranta per trobar una primera aproximació a la composició faunística i la distribució de les espècies de plecòpters i efemeròpters dels rius del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (Ventura, 1998), dins d'un estudi general de les comunitats de macroinvertebrats aquàtics fluvials. En aquest estudi se citaven dotze tàxons d'efemeròpters i tretze espècies de plecòpters distribuïts dins d'un rang d'altituds de 1.600 m a 2.600 m.

### Àrea d'estudi

S'han seleccionat un total de 28 punts de mostreig, la major part a la conca del riu Sant Nicolau amb onze punts i del riu Escrita amb dotze punts, inclosos dos al riu de Peguera, per tal de tenir un gradient altitudinal consecutiu que permetés interpretar bé els canvis en les distribucions de les espècies. Les localitats mostrejades s'han completat amb alguns punts en altres conques. En conjunt, fins ara s'ha mostrejat entre els 1.400 m

Punt	Conca	Altitud	Coordenades	UTM
16	Sant Nicolau	1.914	E 330759.83	N 4715506.9
17	Sant Nicolau	1.893	E 330294.83	N 4714965.9
13	Sant Nicolau	1.863	E 329926.33	N 4714438.9
14	Sant Nicolau	1.839	E 329480.83	N 4713581.9
12	Sant Nicolau	1.834	E 329228.83	N 4713373.9
1	Sant Nicolau	1.832	E 328994.83	N 4713225.9
11	Sant Nicolau	1.833	E 329058.83	N 4713291.9
2	Sant Nicolau	1.759	E 328370.83	N 4713223.9
18	Sant Nicolau	1.629	E 327110.83	N 4713303.9
19	Sant Nicolau	1.621	E 327098.83	N 4713273.9
20	Sant Nicolau	1.619	E 326940.83	N 4713203.9
3	Noguera de Tor	1.570	E 323615.33	N 4716094.9
6	Peguera	2.295	E 339699.83	N 4712708.9
7	Peguera	2.029	E 340777.83	N 4713358.9
23	Escrita	2.192	E 334746.33	N 4717867.9
24	Escrita	2.187	E 334890.33	N 4717835.9
25	Escrita	2.152	E 335184.33	N 4717403.9
26	Escrita	2.154	E 335074.33	N 4717369.9
27	Escrita	2.119	E 335724.33	N 4717223.9
8	Escrita	1.809	E 337364.33	N 4716416.9
29	Escrita	1.932	E 336561.83	N 4716642.4
30	Escrita	1.921	E 336066.83	N 4716762.4
31	Escrita	1.895	E 336722.33	N 4716140.9
10	Escrita	1.690	E 338820.33	N 4716474.9
4	Valarties	1.400	E 325473.83	N 4725096.4
5	Aiguamòg	1.760	E 330253.83	N 4724671.4
22	Bonaigua	1.800	E 336658.83	N 4723981.4

**Taula 1.** Altituds i coordenades UTM dels punts de mostreig.

i els 2.295 m d'altitud (taula 1).

### Mètodes

S'han fet dos mostreigs anuals, un l'any 2008 i un altre el 2009, ambdós entre finals de juny i començaments de juliol, encara que, atès que la primavera de 2008 va ser més freda, el mostreig d'aquest any correspon més a un mostreig de primavera que d'estiu. A cada punt de mostreig es van prendre mostres d'adults aeris amb una mànega entomològica estàndard i mostres de larves aquàtiques mitjançant un mostrejador pentagonal de 25 cm de

cantó i amb xarxa de 250 m de forat de malla. Els adults es van capturar durant 20 minuts a les dues bandes del riu, al llarg d'una secció de 80 m. Per la seva banda, per a les larves es van mostrejar dues seccions transversals durant 10 minuts cada una, les quals es van completar amb el mostreig selectiu de determinats hàbitats adients per a espècies rares o que es capturen amb més dificultats amb la metodologia estàndard. Al camp es van destriar els plecòpters i els efemeròpters de la resta de grups de macroinvertebrats capturats en el mostreig. Tots

els exemplars rebutjats es van tornar al riu.

Les mostres d'adults es van fixar amb etanol absolut la major part, però alguns exemplars pertanyents a espècies rares o endèmiques es van fixar amb RNA-later per a estudis moleculars. Les larves aquàtiques es van fixar en etanol absolut, encara que algunes larves femelles a punt d'emergir d'efemeròpters es van fixar amb etanol al 70% per a l'estudi de l'estructura dels seus ous. Finalment, vam destriar exemplars d'espècies endèmiques o rares per a estudis moleculars; en aquest cas es van fixar amb RNA-later. Totes aquestes mostres es van mantenir refrigerades fins a arribar al laboratori, on les mostres per a estudis moleculars i genètics es van preservar a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , les primeres, i a  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , part de les segones.

La detecció d'hemocianines s'ha fet a partir de l'ARNm, que analitza la transferència dels gens que codifiquen aquestes molècules, mitjançant l'anàlisi electroforètica del sistema gen-enzim (gens Hc1 i Hc2). A partir de l'extracció d'ARN d'individus sencers preservats en RNA-later, adults o nimfes, es clonen i se seqüencien els corresponents ADNc, emprant el sistema d'aïllament de l'ARN (PRO-MEGA). Per al clonatge i la posterior seqüenciació s'han fet servir dos primers, un d'inici i un altre de tancament per a un fragment de 580 pb, que corresponen a la part més conservativa de la seqüència (Hagner-Holler *et al.*, 2004). Posteriorment s'ha utilitzat un RT-PCR, i els productes obtinguts s'han visualitzat en gel d'agarosa amb bromur d'ètidí. La seqüenciació final s'ha fet al Servei de Seqüenciació Automàtica de l'DNA MWG-BIOTECH (Ebersberg, Alemanya). El mètode complet detallat es pot consultar a Fochetti *et al.* (2006).

## Resultats i discussió

### Plecòpters

Fins ara s'han identificat 47 espècies de plecòpters a partir dels exemplars d'adults i larves capturats en els dos anys mostrejats (taula 2). Tanmateix, creiem que la relació d'espècies que viuen al PN-Aigüestortes no és definitiva, ja que hi ha material pendent d'estudis complementaris microscòpics o genètics per tal de completar l'assignació d'espècies. A més a més, manca encara incorporar les captures que es faran aquest any 2010 en zones sense prospectar fins ara. Si comparem aquestes dades amb les dades prèvies obtingudes per Ventura (1998), en un mostreig extensiu amb 65 localitats repartides per tota la xarxa fluvial del PN-Aigüestortes fet el juliol de 1994, trobem que s'ha doblat el nombre d'espècies identificades: 47,

per vint en el treball de Ventura (1998). De fet, com que només quinze són coincidents, aquest estudi aporta 32 espècies noves per a la fauna de plecòpters del PN-Aigüestortes. Respecte a les cinc espècies no capturades fins ara dins del projecte MAYSTONS al qual pertanyen les dades d'aquest article (taula 2), creiem que tres encara poden ser capturades (*Arcynopteryx compacta*, *Nemoura cambrica* i *Nemoura mortoni*), mentre que les restants són dubtoses, ja que no es coneix la seva presència als Pirineus (*Protonemura montana* i



**Figura 2.** *Perlodes intricata*, vista dorsal del cap i part del tòrax.

*Leuctra hispanica*).

Les famílies més ben representades són *Nemouridae* i *Leuctridae*, ambdues amb tretze espècies (taula 2). És interessant el gran nombre d'espècies de predadors grans i mitjans, nou en total pertanyents a les dues famílies de perles (*Perlidae* i *Perlodidae*; figura 2), i molt especialment el fet que fins a cinc espècies coincideixen en alguns punts. Això dona una idea de la complexitat del conjunt de la comunitat de macroinvertebrats fluvials. Però el que cal remarcar és la troballa del gènere endèmic pirinenc *Pachyleuctra*, tant a la conca del riu Sant Nicolau com del riu Escita. A més a més, s'han capturat les dues espècies citades prèviament al vessant sud dels Pirineus, *P. benllochi* i *P. bertrandi* (Puig, 1984; Palau i Puig, 1992; Vinçon i Ravizza, 2001): *P. bertrandi* només en un sol punt i *P. benllochi* (figura 3) en cinc punts de mostreig. Aquesta troballa és molt important perquè s'ha confirmat la desaparició de les poblacions d'aquest gènere en dues de les tres localitats on es conei-



**Figura 3.** Larva de *Pachyleuctra benllochi* de la conca del riu Escrita (punt 8).



**Figura 4.** Larva de *Rhithrogena semicolorata* en visió dorsal.

xia prèviament.

### Efemeròpters

Aquest ordre d'insectes es troba representat dins la xarxa fluvial del PN-Aigüestortes per 31 espècies (taula 3). Aquí també creiem que la relació d'espècies no és definitiva, ja que hi ha exemplars molt petits no identificables i d'altres pendents de l'estudi de l'estructura dels seus ous. Els més ben representats són els heptagènids i els bètids, amb catorze i deu espècies, respectivament (taula 3). Dins dels bètids, la major part d'espècies del gènere *Baetis* són reòfiles, mentre que també ho són les espècies dels gèneres *Ecdyonurus*, *Epeorus* i *Rhithrogena* (figura 4), dins dels heptagènids. En tot cas, les espècies d'aquesta família tenen el cos aplatat, deprimat dorsoventralment, i en alguns casos les traqueobrànquies estan disposades ventralment constituint una falsa ventosa que els permet adherir-se amb força al substrat en zones de fort corrent, com és el cas de les espècies de *Rhithrogena*, que són reòfiles estrictes a més d'es-



**Figura 5.** Larva de *Rhithrogena semicolorata* en visió ventral, per poder veure la pseudoventosa formada per les traqueobrànquies.

tenotermes fredes (figura 5).

En comparar els resultats obtinguts amb l'estudi previ fet per Ventura (1998) al PN-Aigüestortes, observem que només es van identificar dotze tàxons,



davant les 31 espècies identificades actualment. Aquesta diferència es deu en part al fet que en l'estudi anterior només es van poder identificar alguns tàxons a escala de grup d'espècies. Per exemple, l'estudi actual distingeix quatre espècies de *Rhythrogena* que pertanyen al grup *Semicolorata* (*R. cf. dorieri*, *R. cf. Iridina*, *R. semicolorata* i *R. sp. 1*), que era l'únic tàxon reconegut a l'estudi de Ventura (1998). La mateixa situació es troba a la major part dels casos. Convé fer palesa la captura per primer cop dins del PN-Aigüestortes d'espècies rares a Catalunya com ara *Paraleptophlebia cincta* i *Siphonurus lacustris*, com també la presència del gènere *Caenis* (taula 3), pròpia de zones més baixes.

Si considerem tots dos ordres, veiem que s'han trobat més espècies de plecòpters que no pas d'efemeròpters. Aquesta situació és l'esperada per a les xarxes fluvials de muntanya amb climes temperats freds, com ara els Pirineus i els Alps (Puig, 1984; Alba-Tercedor *et al.*, 1992) i és possible perquè hi ha més espècies estenotermes fredes de plecòpters que d'efemeròpters, atès que es considera que els plecòpters són originaris d'ambients de muntanya a partir d'on han irradiat (Fochetti i Tierno de Figueroa, 2004 i 2008), mentre que els efemeròpters no (Puig, 1987; Sartori i Landolt, 1999).

### Distribucions altitudinals

Atès que encara no s'ha prospectat completament tot el rang altitudinal que està previst, s'ha optat en aquest apartat per fer una aproximació general per a tots dos ordres i analitzar detalladament un parell de casos com a indicadors dels canvis produïts els

darrers 25-30 anys.

D'aquesta manera, es pot veure que hi ha tota una sèrie d'espècies àmpliament distribuïdes en totes o gairebé totes les altituds mostrejades (taules 3 i 4), com ara *Siphonoperla torrentium*, *Perla marginata* i *Isoperla acicularis acicularis* (figura 6) entre els plecòpters, i *Baetis alpinus* dins dels efemeròpters (figura 7). Altres espècies tenen distribucions menys àmplies, com ara *Protonemura risi spinulosa* i *Habroleptoides confusa* (figura 8). Finalment, hi ha d'altres que s'han trobat només dins de rangs altitudinals molt petits, no solament aquelles rares que s'han capturat en un o dos punts de

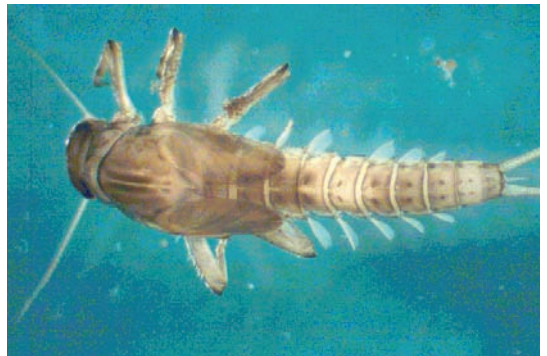


Figura 7. *Baetis alpinus*, larva.



Figura 6. Larva d'*Isoperla acicularis acicularis*.



Figura 8. Larva d'*Habroleptoides confusa*.



mostreig (taules 2 i 3).

**Alainites muticus enfront de Baetis alpinus**

Quan es va fer l'estudi extensiu de les conques fluvials catalanes i andorranes, entre el 1978 i el 1983 (Puig, 1980 i 1984), l'espècie *Alainites muticus* (Ephemeroptera, Baetidae; figura 9) es va considerar com a característica de les comunitats de capçaleres de muntanya mitjana a les conques estudiades, ja que la seva distribució altitudinal era petita i no depassava els 1.500 m, mentre que *Baetis alpinus* com a espècie característica de muntanya mitjana i alta presentava un ampli rang



Figura 9. *Alainites muticus*.

d'altituds (figura 10).

En canvi, actualment, *Alainites muticus* s'ha trobat dins d'un rang d'altituds que arriba fins a les màximes mostrejades fins ara (2.295 m), el mateix rang que presenta *Baetis alpinus*. Si les comparem amb les dades anteriors existents per al PN-Aigüestortes corresponents a l'any 1994 (Ventura, 1998), veiem que està present en un ampli rang altitudinal amb un límit superior als 2.300 m. Trobem també una distribució altitudinal més alta en un estudi fet els anys 1999-2000 (Younes, 2004) a la mateixa àrea geogràfica que la recerca prèvia feta per Puig

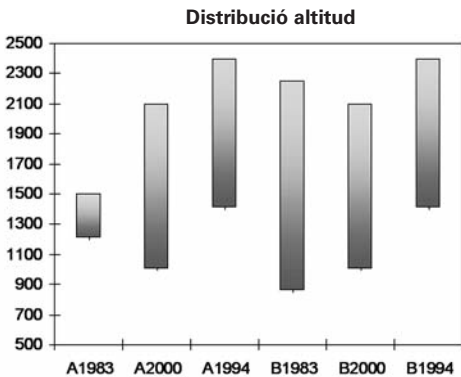


Figura 10. Canvis en el rang d'altituds de *Baetis alpinus* (B) i *Alainites muticus* (A) segons diferents autors (1983 = Puig, 1984; 2000 = Younes, 2004; 1994 = Ventura, 1998).

a la conca del riu Segre (Puig, 1980).

Creiem que la colonització de trams superiors per part d'*Alainites muticus* està associada amb l'augment de la temperatura de l'aire que s'ha enregistrat en aquesta àrea dels Pirineus. Segons Catalán et al. (2002), des de finals de la dècada dels anys setanta fins al 1997, la temperatura mitjana anual ha augmentat en 3 °C, i la mitjana primaveral, en gairebé 6 °C. Aquests increments, sobretot el primaveral, permet que espècies d'aigües més temperades puguin colonitzar altituds superiors.

**Canvis en la distribució de Rhithrogena**

Per comparar els canvis en la distribució del gènere *Rhithrogena* cal analitzar-lo per grups d'espècies, ja que és l'única manera de fer la comparació amb les dades prèvies obtingudes al PN-Aigüestortes (Ventura, 1998). En aquest darrer treball es van recollir exemplars que pertanyien als grups *loyolaea*

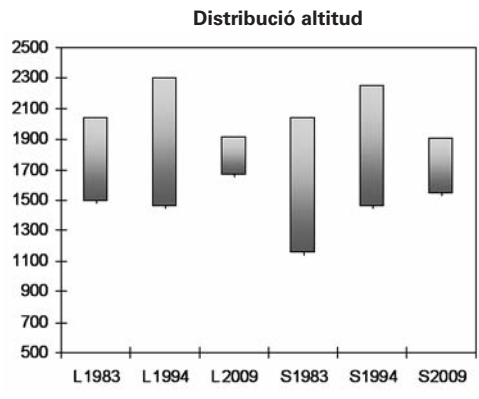


Figura 11. Canvis en el rang d'altituds de *Rhithrogena* gr. *loyolaea* (L) i *Rhithrogena* gr. *semicolorata* (S) segons diferents autors (1983 = Puig, 1984; 1994 = Ventura, 1998; 2009 = aquest estudi).

i *semicolorata*.

Quan es comparen les distribucions actuals d'aquests grups d'espècies amb les de l'any 1994 (Ventura, 1998), s'observa que ambdós han reduït considerablement les seves distribucions altitudinals: ara només viuen en uns rangs d'altituds amb amplituds inferiors als 400 m, de manera que han canviat tant el límit inferior com el límit superior de les seves distribucions. Si també comparem les dades amb els resultats anteriors obtinguts per a la part alta de la conca del riu Segre (Puig, 1980 i 1984), es pot observar d'una banda que la distribució altitudinal de *Rhithrogena* gr. *loyolaea* era més reduïda que la de *Rhithrogena* gr. *semicolorata*, fet que fa palès que el darrer grup d'espècie és més tolerant envers un cert grau de

contaminació que no pas les de l'altre grup (Puig, 1980 i 1984). D'altra banda, es pot reafirmar la notable reducció de les seves distribucions altitudinals ja observada amb les dades del PN-Aigüestortes.

El desplaçament amunt del límit inferior es pot associar amb l'augment de les temperatures (Catalán *et al.*, 2002), implementades per l'efecte de bona part de les infraestructures hidràuliques existents a les conques del PN-Aigüestortes (Catalán i Vilalta, 1997). Al seu torn, la reducció del límit superior es pot associar amb la reducció dels cabals als trams de capçalera per l'efecte de l'augment de les temperatures, reforçat també per la regulació i els transvasaments que hi ha a les capçaleres (Catalán i Vilalta, 1997).

En conjunt, els dos exemples analitzats evidencien que les espècies estenotermes fredes es van desplaçant cap amunt i comencen a perdre terreny respecte a les espècies de zones més temperades, com ara *Alainites muticus*. Aquesta situació és més greu encara per a les espècies que a més d'estenotermes fredes són reòfiles estrictes, ja que en aquest cas les seves distribucions veuen reduïts tant el límit superior com el límit inferior.

### Les hemocianines en plecòpters

S'ha descobert la presència d'hemocianines en sis de les quinze espècies analitzades que viuen al PN-Aigüestortes, inclosa *Arcynopteryx compacta*, espècie relictada citada per Ventura (1998) però encara no capturada en el nostre estudi. Per a l'estudi d'aquesta espècie s'ha emprat material capturat a la Cerdanya francesa (Amore, 2010). De les espècies endèmiques pirinenques analitzades només una posseeix hemocianina, *Isoperla acicularis acicularis* (taula 4). També en té *Arcynopteryx compacta*, l'espècie relictada. Ambdues espècies podrien tolerar *a priori* dèficits d'oxigen dissolt a les aigües on viuen produïts per l'efecte combinat de l'augment de la temperatura i la re-

Espècie	Hemocianina
<i>Dinocras cephalotes</i>	SÍ
<i>Perla grandis</i>	SÍ
<i>Perla marginata</i>	SÍ
<i>Arcynopteryx compacta</i> **	SÍ
<i>Isoperla acicularis acicularis</i> **	SÍ
<i>Isoperla grammatica</i>	SÍ
<i>Isoperla viridineris</i> **	NO
<i>Perlodes intricata</i>	NO
<i>Siphonoperla torrentium</i>	NO
<i>Xantoperla apicalis</i>	NO
<i>Pachyleuctra benllochi</i> **	NO
<i>Leuctra alosi</i>	NO
<i>Amphinemura sulcicollis</i>	NO
<i>Nemoura cinerea</i>	NO
<i>Protonemura tuberculata</i> **	NO

**Taula 4.** Relació d'espècies estudiades per detectar la presència d'hemocianines (s'indiquen amb asterisc les espècies endèmiques pirinenques o relictades)

ducció del cabal.

En canvi, no tindrien aquesta preadaptació davant d'aquests efectes del canvi global altres espècies endèmiques com ara *Pachyleuctra benllochi*, *Protonemura tuberculata* i *Isoperla viridineris*. Per a aquesta última, és un handicap afegit que pot ser determinant de la seva supervivència si es té en compte que els adults aeris són braquipters en la població present al PN-Aigüestortes, de manera que la seva capacitat de dispersió i, per tant, de colonització aigües amunt és molt minsa.

### Agraïments

El projecte està finançat per l'Organisme Autònom Parcs Nacionals (OAPN), del Ministeri de Medi Ambient, Pesca i Agricultura, amb el cofinançament del projecte Consolider GRACCIE del MICINN. El Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici

## Annexes

Espècies	Distribució altitudinal	Distribució dels punts de mostreig
<b>Perlodidae</b>		
<i>Accynopteryx compacta</i>	s.c.	s.c.
<i>Isoperla acicularis acicularis</i> **	1.690-2.152	7, 8, 10, 16, 22, 25, 26, 31
<i>Isoperla grammatica</i>	1.400-1.809	4, 5, 8
<i>Isoperla viridinervis</i> **	1.690-2.187	8, 10, 24, 26, 30
<i>Isoperla</i> sp. 2	1.809	8
<i>Perloides intricata</i>	2.154	26
<b>Perlidae</b>		
<i>Perla grandis</i>	2.154-2.187	24, 26
<i>Perla marginata</i>	1.570-1.914	1-3, 5, 12, 13, 16, 17, 19, 22
<i>Dinocras cephalotes</i>	1.400-2.154	1-5, 12, 13, 16-20, 25-27
<i>Dinocras</i> sp.	1.760	5
<b>Chloroperlidae</b>		
<i>Siphonoperla torrentium</i>	1.570-2.295	1-8, 10-14, 16, 17, 19, 20, 24, 29, 30
<i>Siphonoperla</i> cf. <i>montana</i>	2.192	23
<i>Chloroperla tripunctata</i>	1.832-1.834	1, 11, 12
<i>Chloroperla</i> sp.	2.192	23
<i>Xantoperla apicalis</i>	1.914-2.154	8, 16
<b>Nemouridae</b>		
<i>Amphinemura standfussi</i>	1.629-2.295	6, 18, 23, 25, 27
<i>Amphinemura sulcicollis</i>	1.400-2.187	1, 2-4, 7, 10-14, 16-20, 24, 26, 27
<i>Amphinemura triangularis</i>	1.629-1.914	5, 16-18
<i>Nemoura cambrica</i>	s.c.	s.c.
<i>Nemoura cinerea</i>	2.295	6
<i>Nemoura linguata</i> **	1.809	8
<i>Nemoura mortoni</i>	s.c.	s.c.
<i>Nemoura uncinata</i>	1.914-2.154	16, 26
<i>Nemourella picteti</i>	1.690	10
<i>Protonemura intricata intricata</i>	1.400-2.192	1, 3-5, 7, 8, 11, 16, 17, 19, 23, 25, 30
<i>Protonemura montana</i>	s.c.	s.c.
<i>Protonemura pyrenaica pyrenaica</i> **	1.621-1.932	8, 13, 16, 19, 22, 29, 31
<i>Protonemura risi spinulosa</i>	1.629-1.893	5, 8, 13, 17, 18
<i>Protonemura tuberculata</i> **	1.809	8
<i>Protonemura vandeli</i> **	1.834-2.029	7, 12
<i>Protonemura</i> sp. 1	1.570-1.629	3, 5, 18
<b>Capniidae</b>		
<i>Capnia nigra</i>	1.760	5
<i>Capnioneura</i> sp.	1.833	11
<b>Leuctridae</b>		
<i>Pachyleuctra benllocchi</i> **	1.621-1.932	8, 18, 19, 24, 29, 30
<i>Pachyleuctra bertrandi</i> **	1.621-1.760	5, 18, 19
<i>Leuctra alosi</i>	1.400-2.295	1, 2, 4-8, 16, 18, 19, 22-24, 27, 30, 31
<i>Leuctra despaxi</i>	1.400	4
<i>Leuctra hippopus</i>	1.629-1.809	5, 8, 18
<i>Leuctra hispanica</i>	s.c.	s.c.
<i>Leuctra illiesi</i>	1.629	18
<i>Leuctra inermis</i>	1.570-2.192	2, 3, 5, 8, 11, 12, 16, 19, 23, 24, 30
<i>Leuctra kempnyi</i> **	1.863	13
<i>Leuctra leptogaster</i>	1.570-2.192	1-3, 12, 16-19, 23-27
<i>Leuctra</i> cf. <i>lamellosa</i>	2.295	6
<i>Leuctra</i> cf. <i>major</i>	2.154	26
<i>Leuctra rauscheri</i> **	2.119	27
<i>Leuctra</i> sp. 2	2.295	6

Taula 2. Relació d'espècies de plecòpters capturades (\*\* indica endemisme pirinenc; s.c. = sense captures).

Espècies	Distribució altitudinal	Distribució dels punts de mostreig
<b>Heptageniidae</b>		
<i>Epeorus assimilis</i>	1.759-2.187	1, 2, 5, 12, 13, 16, 17, 24-27, 31
<i>Epeorus sylvicola</i>	1.570-1.800	3, 18, 19, 22
<i>Epeorus</i> sp. 1	1.863	13
<i>Ecdyonurus angelieri</i>	1.570	3
<i>Ecdyonurus</i> cf. <i>aurantiacus</i>	1.759	2
<i>Ecdyonurus dispar</i>	1.570-2.192	1-3, 5, 7, 12, 16, 19, 20, 22-25, 31
<i>Ecdyonurus</i> cf. <i>macani</i>	2.029	7
<i>Electrogena lateralis</i>	s.c.	s.c.
<i>Rhithrogena diaphana</i>	1.832	1
<i>Rhithrogena</i> cf. <i>dorieri</i>	1.619-1.834	2, 12, 19, 20
<i>Rhithrogena</i> cf. <i>iridina</i>	1.570-1.914	3, 12, 13, 16, 17
<i>Rhithrogena loyolaea</i>	1.690-1.921	10, 14, 30
<i>Rhithrogena semicolorata</i>	1.760-1.895	5, 22, 31
<i>Rhithrogena</i> sp. 1 (gr. <i>semicolorata</i> )	1.629	18
<b>Baetidae</b>		
<i>Alainites muticus</i>	1.619-2.295	1, 2, 5-7, 12, 13, 16-20, 23-27, 31
<i>Baetis alpinus</i>	1.570-2.295	1-3, 5-8, 10, 12, 13, 16-20, 22-27, 30, 31
<i>Baetis catharus</i>	1.932	29
<i>Baetis nicolae</i> **	1.621	19
<i>Baetis gadeai</i>	1.863-2.295	6, 13, 25
<i>Baetis</i> gr. <i>lutheri</i>	1.570-2.029	3, 7
<i>Baetis rhodani</i>	1.570-2.295	1, 3, 5, 6, 8, 10, 16, 17, 27
<i>Baetis</i> gr. <i>niger</i>	2.192	23
<i>Baetis</i> sp. 3	1.863	13
<i>Cloeon schoenemundi</i>	1.619	20
<b>Leptophlebiidae</b>		
<i>Habroleptoides berthelemyi</i>	1.629-2.192	18, 23
<i>Habroleptoides confusa</i>	1.570-2.192	1-3, 5, 7, 16-19, 22, 23, 25, 27, 31
<i>Habroleptoides</i> sp. 1	2.119	27
<i>Paraleptophlebia cincta</i>	1.621-2.029	1, 7, 16, 18, 19
<b>Siphonuridae</b>		
<i>Siphonurus lacustris</i>	1.621	19
<b>Caenidae</b>		
<i>Caenis</i> sp.	1.570	3
<b>Ephemerellidae</b>		
<i>Serratella ignita</i>	1.570-1.760	3, 5

Taula 3. Relació d'espècies d'efemeròpters capturades (\*\* indica endemisme pirinenc; s.c. = sense captures)..

## Bibliografia

- ALBA-TERCEDOR J. Recopilación de citas de efemerópteros en la Península Ibérica e Islas Baleares. Departamento de Zoología, Universitat de Granada, 1981; 4 (2): 41-81. Treball monogràfic.
- ALBA-TERCEDOR J, GONZÁLEZ G, PUIG MA. Present level of knowledge regarding fluvial macroinvertebrate communities in Spain. *Limnetica* 1992; 8: 231-41.
- AMORE V, BELARDINELLI M, GUERRA L, BUONOCORE F, FAUSTO AM, UBERO-PASCAL N et al. Do really all stonefly nymphs have respiratory proteins? Further data on the presence of hemocyanin in the larval stage of Plecoptera species. *Insect Molecular Biology* 2009; 18: 203-11.
- AMORE V, FOCHETTI R. Present knowledge on the presence of hemocyanin in stoneflies (Insecta: Plecoptera). *Aquatic Insects* 2009; 31 Supl. 1: 577-84.
- BARBOUR MT, GERRITSEN J, SNYDER BD, STRIBLING JB. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, 2a edició. EPA 841-B-99-002. Washington, DC: US Environmental Protection Agency, Officer of Water, 1999.
- BERTHÉLEMY C. Recherches écologiques et biogéographiques sur les Plécoptères et Coléoptères d'eau courante (Hydraena et Elminthidae) des Pyrénées. *Annales de Limnologie* 1966; 2 (2): 227-458.
- BURMESTER T. Evolutionary history and diversity of arthropod hemocyanins. *Micron* 2004; 35: 121-2.
- CATALÁN J, VILALTA R, coordinador. L'obra hidràulica en els Pirineus. ENHER, Fundació La Caixa i FECSA, 1997; 583 p.
- CATALÁN J et al. Lake Redó ecosystem response to an increasing warming in the Pyrenees during the twentieth century. *Journal of Paleolimnology* 2002; 28: 129-45.
- FOCHETTI R, BELARDINELLI M, GUERRA L, BUONOCORE F, FAUSTO AM, CAPORALE C. Cloning and Structural Analysis of a Hemocyanin from the Stonefly *Perla grandis*. *The Protein Journal* 2006; 25 (7-8): 443-54.
- FOCHETTI R, TIerno DE FIGUEROA JM. Plecoptera. Fauna Europaea Web Service. <<http://www.faunaeur.org>>, 2004 (Fauna Europaea project, ref. EVR1-CT-1999-2001).
- FOCHETTI R, TIerno DE FIGUEROA JM. Global diversity of stoneflies in freshwater. *Hydrobiologia* 2008; 595: 365-77.
- HAGNER-HOLLER S, SCHOEN A, ERKER W, MARDEN JH, RUPPRECHT R, DECKER H et al. A respiratory hemocyanin from an insect. *PNAS* 2004; 101 (3): 871-4.
- LENAT DR. A biotic index for the southeastern United States: Derivation and list of tolerance values, with criteria for assigning water-quality ratings. *J N Am Benth Soc* 1993; 12: 279-90.
- PALAU A, PUIG MA. Distribució espacial i temporal dels plecòpters i els efemeròpters en el riu Segre (Lleida). *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural* 1992; 60: 121-7.
- PUIG MA. Contribució a l'estudi de l'ecologia comparada dels plecòpters i els efemeròpters d'Andorra. *Butl Inst Cat Hist Nat* 1980; 45: 77-87.
- PUIG MA. Efemerópteros y plecòpteros de los ríos catalanes. Universitat de Barcelona, 1984; 582 p. Tesi doctoral.
- SÁNCHEZ-ORTEGA A, ALBA-TERCEDOR J, TIerno DE FIGUEROA JM. 2002. Lista faunística y bibliográfica de los plecòpteros (*Plecoptera*) de la Península Ibérica e Islas Baleares. Listas de flora y fauna de las aguas continentales de la Península Ibérica, 16. Madrid: AeL Eds, 2002; 198 p.
- SARTORI M, LANDOLT P. Atlas de distribution des Ephémères de Suisse (Insecta, Ephemeroptera). A: Fauna Helvética, vol. 3, 1999; 214 p.
- TIerno DE FIGUEROA JM, SÁNCHEZ-ORTEGA A, MEMBIELA P, LUZÓN-ORTEGA JM. Plecoptera. A: Ramos MA et al., editors. Fauna Ibérica, vol. 22. Madrid: MNCN, CSIC, 2003; 404 p.
- THOMAS A, MASSELOT G. Les Ephémères de France: inventaire des espèces signalées et des espèces potentielles (Ephemeroptera). *Bulletin de la Société entomologique de France* 1996; 101 (5): 467-88.
- VENTURA M. Distribució de les comunitats de macroinvertebrats als rius del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (Pirineus Centrals). IV Jornades sobre Recerca al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, 1998: 163-78.
- VINÇON G, RAVIZZA C. Leuctridae (Plecoptera) of the Pyrenees. *Annales de Limnologie* 2001; 37 (4): 293-322.
- YOUNES Y. Responses des communautés benthiques et piscicoles des cours d'eau d'Andorre aux perturbations d'origine anthropique. Role des microhabitats et recherche d'outils de bioindication en milieu montagnard. Tesis PhD, Université Paul Sabatier, Toulouse III, 2004, 253 p.