

# Espècies invasores a la Mar Balear: impactes sobre les comunitats marines litorals

Antonio BOX<sup>1</sup>, Antoni SUREDA<sup>2</sup>, Silvia TEJADA<sup>3</sup> i Salud DEUDERO<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Dep. Agricultura, Ramaderia, Pesca, Caça i Cooperació Municipal. Consell Insular d'Eivissa. [boxtoni@yahoo.es](mailto:boxtoni@yahoo.es)

<sup>2</sup>Grup en Nutrició Comunitària i Estrès Oxidatiu, Departament de Biologia Fonamental i Ciències de la Salut, Universitat de les Illes Balears; CIBERobn, Fisiopatologia de l'Obesitat i Nutrició, Illes Balears, Spain. [tosugo@hotmail.com](mailto:tosugo@hotmail.com)

<sup>3</sup>Experimental Laboratory, Research Unit, Son Llàtzer Hospital, IUNICS, Palma de Mallorca, Illes Balears, Spain; Grup en Nutrició Comunitària i Estrès Oxidatiu, Departament de Biologia Fonamental i Ciències de la Salut, Universitat de les Illes Balears, Spain. E-mail: [tejada@hsl.es](mailto:tejada@hsl.es).

<sup>4</sup>Instituto Español de Oceanografía (IEO). Centro Oceanográfico de Baleares. Muelle de Poniente s/n, 07015 Palma de Mallorca, Spain. [salud.deudero@ba.ieo.es](mailto:salud.deudero@ba.ieo.es)

## Resum

La presència d'espècies invasores és un problema per la conservació dels ecosistemes tant terrestres com marins. En el cas del ecosistema marins i en concret als ecosistemes marins de les Illes Balears han estat detectades tant espècies d'algues, com d'invertebrats i peixos no originaris de la Mediterrània. Aquestes espècies no només es poden establir presentant poblacions permanents, sinó que poden entrar en competència amb les espècies natives i en el cas concret de les algues, poden modificar l'hàbitat amb els conseqüents efectes sobre els organismes que prèviament trobaven en elles tant refugi com aliment. En aquest capítol es presenten un recull de treballs en els quals s'analitzen els efectes de la presència d'espècies invasores sobre la fauna des d'una vessant clàssica, basada en densitats i diversitat d'espècies i una altra vessant més innovadora que es basa en els canvis fisiològics associats a la presència d'aquestes espècies invasores. En concret es presenten resultats de treballs sobre els efectes de les algues invasores del gènere *Caulerpa*, *C. taxifolia* i *C. racemosa*, l'alga *Lophocladia lallemandi* i del cranc *Percnon gibbsii*.

## Introducció

El nombre d'espècies invasores presents a la Mediterrània és cada vegada major. Moltes són les causes per les quals cada dia hi ha una major presència d'espècies no natives a les aigües de les Illes Balears. Entre elles destaquen l'augment del transport marítim, l'aquicultura i el comerç d'espècies d'aquarificació com a causes responsables de la introducció d'espècies en els ecosistemes marins. Aquesta entrada d'espècies alienes pot tenir efectes molt negatius damunt la biodiversitat, alterant l'estructura i funcionament dels ecosistemes envaïts (Boudouresque i Verlaque, 2002). La introducció d'espècies invasores és un problema a escala global, ja que poden posar en perill les espècies natives (Boudouresque i Verlaque, 2002) afectant l'ecosistema a nivell d'introducció de nous predadors, competència pels recursos amb les espècies natives, mescla genètica amb espècies natives properes, dispersió de patògens afectant a les espècies locals i amb un desplaçament d'espècies locals que colonitzen i canvien l'hàbitat original.

Una espècie invasora, dintre de l'àmbit marí, es defineix com qualsevol espècie amb una translocació en un ambient fora de la seva àrea de distribució original, dintre dels temps històrics, la qual ha estat associada a l'activitat humana (accidental o no accidentalment) (Olenin i Leppäkoski, 1999) o a la seva dispersió a través de vies naturals (Ex. Estret de Gibraltar) (Streftaris *et al.*, 2005).

La presència d'espècies invasores pot ser considerada com un tipus de contaminació amb efectes negatius sobre el medi ambient i la

societat, per presència d'organismes potencialment nocius per a la salut i amb impactes sobre l'economia (Carlton i Geller, 1993). Un dels casos més coneguts sobre els efectes negatius de la presència d'espècies invasores sobre el medi marí és el cas dels dinoflagel·lats responsables de marees vermelles transportats mitjançant les aigües de llast (Ruiz *et al.*, 1997). Malgrat això, no tots els casos d'introducció d'espècies invasores són considerats com negatius per a l'economia (fet que no lleva el seu impacte negatiu sobre el medi marí). Aquest és el cas del gasteròpode *Strombus persicus* (Swainson, 1821) i del cranc *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1826), els quals han adquirit importància comercial local (Mienis, 1999).

En la Mar Mediterrània la principal via d'entrada d'espècies invasores és la comunicació amb el canal de Suez, el qual ha permès l'arribada d'espècies des de la regió Indo-Pacífica al Mediterrani Oriental. Aquesta obertura, juntament amb l'increment de tràfic marítim associat a aquest canal, és un fet que va afavorir dues vies addicionals d'entrada d'espècies invasores, com són els organismes associats a les aigües de llast i el *biofouling*. Altres vies d'entrada d'espècies invasores són tant les activitats d'aquicultura (ja que els organismes en producció, si no són espècies mediterrànies poden escapar als mecanismes de control arribant a establir poblacions naturals (Verlaque, 2001)), com l'estret de Gibraltar com a via natural d'entrada d'espècies a les nostres aigües des de les costes atlàntiques.

En les aigües de les Illes Balears s'ha de destacar la presència d'espècies algals que han

colonitzat determinades zones fotòfiles com són *Caulerpa taxifolia* (Vahl), *Caulerpa racemosa* var *cylindracea* (Forsskal), *Lophocladia lallemandii* (Montagne), *Acrothamnion preissi* (Sonder), *Asparagopsis taxiformis* (Delile) i *Womersleyella setacea* (Hollenberg) entre d'altres. El principal efecte d'aquestes espècies algals invasores és el que fa referència al nivell de comunitat d'algues fotòfiles induint canvis en les espècies algals presents i alterant la fauna invertebrada que hi viu. Altres organismes marins invasors detectats a les illes Balears són els mol·luscs *Pinctada radiata* (Leach, 1814) i *Bursatella leachii* (Blainville, 1817) (Pons i Álvarez 2010). Es tracta, en ambdós casos, d'espècies que probablement han entrat dintre la mediterrània a través del Canal de Suez mitjançant aigües de llast o per circulació de les aigües marines. Un altre mol·lusc que també s'ha detectat en les aigües de les Illes Balears és la copinya japonesa *Tapes philippinarum* (A. Adams i Reeve) (Pons i Álvarez 2010). Entre els crustacis invasors detectats hi ha dues espècies presents a les Illes Balears: el llagostí *Penaeus japonicus* (Spence Bate, 1888) i el cranc *Percnon gibbesi* (H. Milne Edwards, 1853) (Pons i Álvarez 2010). Altres organismes no vertebrats detectats en aigües de les Balears són l'hexacorolari *Oculina patagonica* (de Angelis, 1908) o l'ascídia *Ecteinascidia turbinata* (Herdman, 1880).

El cas dels vertebrats, parlem dels peixos invasors o introduïts, acostuma a ser més fàcilment detectable, ja que en molts de casos els propis pescadors o submarinistes alerten de què han vist o capturat una espècie que no coneixien i que, finalment, acaba essent una espècie al·lòctona. A les Illes Balears són diverses les espècies de peixos no natives que s'han detectat, però en cap cas han presentat unes densitats tan elevades per fer pensar que s'han establert definitivament a les nostres aigües. Entre les espècies de peixos es pot destacar el peix trompeta (*Fistularia commersonii* Rüppell, 1838) que va ser observat de forma fugaç a les Balears (Sánchez-Tocino *et al.*, 2007). Altres espècies poden ser *Coris julis* (Linnaeus, 1758) amb lliurea atlàntica, que malgrat ser la mateixa espècie que la *Coris julis* autòctona, presenta unes característiques en la seva lliurea que fa pensar que tingui origen en aigües atlàntiques i s'hagi produït una dispersió a la Mediterrània a través de les seves larves (Martino i Grau 2010). També destaquen dues espècies de peix globus que han aparegut al litoral mediterrani llewantí: *Sphoeroides pachygaster* (Müller & Troschel, 1848), detectat en aigües balears (Mas i Box 2013) i *Lagocephalus sceleratus* (Gmelin, 1789), espècie encara no detectada en aigües de

les Balears, però sí en les costes de Catalunya i Dènia, fet que va aixecar una important alarma per ser una espècie amb toxines mortals per a l'home en cas que es consumeixi. Finalment, s'han detectat algunes espècies pelàgiques a les Balears com són el *Caranx crysos* (Mitchill, 1815) o la *Seriola fasciata* (Bloch, 1793) (Massutí i Stefanescu, 1993).

### Aproximacions al problema, vessant clàssica i vessant bioquímica

A l'hora d'enfocar el problema associat a la presència d'espècies invasores sobre la fauna hi ha un enfocament més clàssic que es basa en avaluar els canvis d'abundàncies i densitats de les espècies que hi vivien associats a l'arribada d'una nova espècie. Aquest enfocament, ens dóna una idea del canvi que se ha produït, però no ens permet veure com ha afectat a les funcions fisiològiques dels organismes que allà hi viuen. En el cas de les Illes Balears uns dels principals impactes en el medi marí ha estat la presència d'algues invasores com és el cas de *Caulerpa taxifolia*, *C. racemosa* i *Lophocladia lallemandii*. És especialment important l'impacte d'aquestes dos darreres, ja que quan troben condicions adequades pel seu desenvolupament poden colonitzar completament els substrats canviant la composició algal, en el cas de comunitats d'algues fotòfiles, o afectant a les praderies de fanerògames marines. En molts de casos aquestes algues invasores presenten metabòlits secundaris amb funció defensiva que tenen com objectiu protegir a l'alga tant de la depredació per part de determinats organismes (Box *et al.*, 2008b; Box *et al.*, 2009; Sureda *et al.*, 2006) com de l'epifitisme per part d'altres algues (Guillem-Mateu *et al.*, 2010) arribant a canviar les condicions químiques ambientals. En el cas de les caulerpals, s'ha evidenciat que produeixen un sesquiterpè, la caulerpenina, com a principal metabòlit secundari de defensa. Aquest compost ha demostrat ser gairebé no palatable per la majoria d'herbívors i tenir propietats citotòxiques sobre els eriçons i cultius cel·lulars (Pedrotti *et al.*, 1996; Pesando *et al.*, 1998; Pesando *et al.*, 1996). *L. lallemandii* també posseeix substàncies químiques defensives com són les lofocladines, un grup d'alcaloides els quals també posseeixen propietats citotòxiques (Gross *et al.*, 2006). Una segona aproximació als efectes de les algues invasores sobre els organismes és l'estudi per mitjà de biomarcadors, i dins aquests, destaquen els relacionats amb l'estrès oxidatiu. El metabolisme cel·lular en condicions normals és una font contínua d'espècies reactives d'oxigen que se produeixen per

processos cel·lulars com és la pròpia respiració. Aquestes espècies reactives si no són eliminades poden afectar a components cel·lulars com són els lípids, proteïnes i ADN i poden arribar a alterar el funcionament cel·lular normal. Davant això les cèl·lules posseeixen un complex sistema de defenses antioxidants que eliminen i/o prevenen la formació d'aquestes espècies reactives d'oxigen. Entre aquestes defenses antioxidants també es troben mecanismes encarregats de reparar i eliminar les molècules afectades per les espècies reactives d'oxigen (Elias et al., 1999). Les defenses antioxidants inclouen enzims com la superòxid dismutasa (SOD), glutatió reductasa (GR), glutatió peroxidasa (GPx) i catalasa (CAT), els quals actuen eliminant les espècies reactives de oxigen. Malgrat aquestes defenses, en ocasions, la producció d'espècies reactives pot superar els mecanismes de defensa antioxidant i conduir a una situació que es coneix com estrès oxidatiu.

A més de la producció fisiològica normal d'espècies reactives d'oxigen, alteracions de les condicions on viu l'organisme (competència entre espècies, canvis de salinitat, ph, etc.), la presència de substàncies tòxiques i/o contaminants com poden ser el metabòlits secundaris d'algues, poden ser també causa d'un increment en la generació d'espècies reactives (Livingstone, 2001; Uchimura et al., 1999). A part dels enzims antioxidants que eliminen espècies reactives d'oxigen, hi ha enzims detoxificadors, com són els citocroms P450 i enzims que transfereixen grups polars a contaminants com les glutatió-s-transferases, que es veuen augmentats en els organismes quan s'ingereixen o s'entra en contacte amb compostos tòxics.

Quan el sistema antioxidant ha estat superat per les espècies reactives, apareixen processos de dany cel·lular que poden ser mesurats per mitjà de marcadors de peroxidació lipídica (malondialdehid (MDA) i 4-Hidroxi-nonenal (4-HNE)), d'oxidació de proteïnes (grups carbonílics) o indicadors de fragmentació o oxidació de l'ADN. En els casos d'estrès oxidatiu persistent i d'elevada intensitat, els danys cel·lulars es poden acumular i acabar induint la mort cel·lular; per tant, és molt important per l'organisme evitar i contrarestar les molècules prooxidants.

### **Alteracions en els ecosistemes marins balears associats a la presència d'organismes invasors**

#### **Efectes d'algues invasores sobre la fauna invertebrada**

Un dels principals problemes associat a la presència d'algues invasores és que en alguns casos colonitzen de forma tant important el substrats que canvien totalment l'hàbitat. En el cas de les algues del gènere *Caulerpa*, el entramat de frondes i estolons és tan dens que serveix de refugi i protecció per moltes espècies d'invertebrats que hi troben un hàbitat més protegit dels depredadors més habituats a altre tipus d'algues. En canvi, aquelles espècies més especialitzades a l'hàbitat original, són les que més pateixen la colonització del seu hàbitat ja que moltes de les adaptacions desenvolupades deixen de ser eficients. Un altre problema associat a la presència d'espècies invasores algals és la producció de metabòlits secundaris de defensa enfront l'herbivorisme. Aquest és el cas de les caulerpals amb la producció de caulerpenina o *Lophocladia lallemandii* amb la producció de lofocladines.

Els estudis sobre la fauna invertebrada associada a la invasió sobre mata de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile, 1813 per *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* i *C. taxifolia* a les Illes Balears, han demostrat que hi ha canvis significatius en les comunitats d'invertebrats respecte a la que prèviament hi havia. Les caulerpals tenen una marcada estacionalitat en el seu creixement presentant màxims de biomassa i cobertura durant el període estival, període durant el qual hi ha les majors abundàncies de fauna invertebrada. En el cas de les Illes Balears no ens trobem amb casos on hagi desaparegut completament la praderia de *P. Oceanica*. En aquest cas, les caulerpals creixen sobre la mata morta envoltada encara de praderia de *P. oceanica*. Per tant, uns dels principals efectes en aquesta situació d'invasió és que no hi ha una desaparició de la fauna invertebrada associada a *Posidonia* i sí una confluència d'espècies d'invertebrats a les caulerpals les quals provenen de la pròpia praderia de *P. oceanica* o dels hàbitats propers com fons sorrencs o comunitats de algues fotòfiles (Box et al., 2007; Box 2008). El fet que les caulerpals tinguin una marcada estacionalitat té un clar efecte en la fauna invertebrada, la qual presenta majors abundàncies durant els períodes de màxima biomassa (Box et al., 2007; Box 2008; Box et al., 2010).

Un altre factor a destacar en els estudis dels efectes de les algues invasores sobre la fauna invertebrada és que abans de la arribada de les dues caulerpals invasores, *C. taxifolia* i *C. racemosa* var. *cylindracea*, ja hi habitava en les nostres aigües una altra caulerpal, la *C. prolifera*. Es per això que ja hi havia invertebrats adaptats a viure i alimentar-se d'aquesta espècie autòctona i per tant a ingerir caulerpenina, entre ells alguns molt

especialitzats com *Ascobulla fragilis* (Jeffreys, 1856), *Oxynoe olivacea* (Rafinesque, 1814) i *Lobiger serradifalci* (Calcara, 1840), les quals han estat totes observades en els mostratges de fauna en les caulerpals invasores (Box *et al.*, 2007; Box 2008). Els estudis sobre la concentració estacional de caulerpenina desenvolupats a les Illes Balears han demostrat com, paradoxalment, és la *C. prolifera* l'espècie que presenta unes majors concentracions de la toxina (Box *et al.*, 2008b). Per tant, a l'hora d'analitzar els canvis en les comunitats d'invertebrats hem d'analitzar altres variables a part de la toxicitat de l'alga per explicar els canvis en les abundàncies de les espècies. Tal és el cas de l'estructura tridimensional i l'efecte barrera dels frondes i els estolons de les caulerpals, que eviten l'accés a l'aliment per part dels depredadors més grans, com poden ser moltes espècies de peixos (Levi i Francour, 2004; Longepierre *et al.*, 2005) obligant en molts de casos a ingerir la caulerpal per accedir a la fauna invertebrada que allà troba amagatall (Box *et al.*, 2009).

Una de les principals preguntes que ha de ser plantejada és, com responen les espècies d'invertebrats natives a aquest canvi en l'hàbitat? En aquest cas és de gran interès observar les respostes fisiològiques dels organismes invertebrats en aparèixer l'alga invasora.

Alguns estudis desenvolupats a les Illes Balears han demostrat com l'espècie *Bittium reticulatum* (da Costa, 1778), espècie generalista, no veu reduïdes les seves abundàncies en hàbitats envaïts o colonitzats per *Caulerpa* (Box, 2008; Box *et al.*, 2008a). La resposta antioxidant observada té com a significat que, fisiològicament, aquest gastròpode incrementa eficaçment les seves defenses antioxidants en ingerir i/o viure dins àrees amb *Caulerpa* sense sofrir signes evidents de dany a components cel·lulars. Tot dos resultats confirmen que aquesta espècie generalista pot alimentar-se de *Caulerpa* (Sureda *et al.*, 2008) i que, per tant, aquest gastròpode pot viure dins zones envaïdes, fet que explica que aquesta espècie augmenti les seves abundàncies quan passem d'un hàbitat de

*P. oceanica* a un altre de mata morta colonitzada per qualsevol espècie de *Caulerpa*.

A les Illes Balears una altra espècie invasora que té gran presència és *L. lallemandii*, la qual creix en comunitats d'algues fotòfiles. Aquesta espècie afecta les comunitats d'invertebrats tant a nivell d'alteracions de comunitats algals com també alterant els cicles detrítics principalment de *P. oceanica*, ja que s'acumulen grans quantitats de restes d'aquesta espècie mesclades amb les restes de *P. oceanica*. En el parc natural de Sa Dragonera, treballs de Rodríguez i col·laboradors (2012) varen trobar diferències en la comunitat d'anfípods presents en zones de comunitat algal fotòfila respecte a zones sense invasió. Durant el període de màximes biomasses, *L. lallemandii* és capaç de créixer damunt les valves de la nacra de tal manera que l'obertura entre elles pot quedar parcialment obstruïda per la biomassa algal. Tot això fa que la capacitat filtradora de la nacra i la circulació d'aigua al seu voltant quedi reduïda. Hi ha treballs previs que demostren que gran part de la dieta de la nacra està composta per algues epífites de la posidònia (Kennedy *et al.*, 2001). Aquest fet es tradueix, davant una situació de invasió de *L. lallemandii*, en una ingesta accidental de fragments d'aquesta macroalga, filamentosa i molt fràgil, que suposa un consum per part de la nacra de toxines com la lofocladina (Fig. 1)

En un altre estudi es va avaluar la resposta antioxidant de l'eriçó *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) que s'havia mantingut dins aquaris que es diferenciaven en la disponibilitat d'aliment. Els eriçons es van alimentar durant tres mesos amb *P. oceanica*, *C. racemosa* o *L. lallemandii* i s'analitzaren les gònades. Els resultats varen evidenciar que tant els enzims antioxidants com l'enzim detoxificador glutatió transferasa i els nivells de glutatió es veien incrementats de forma significativa en els organismes alimentats amb les espècies invasores. En canvi, els marcadors de dany oxidatiu no mostraren diferències entre els tres grups, el que indicaria una adaptació a les condicions estressants induïdes per les espècies invasores (Tejada *et al.*, 2012).

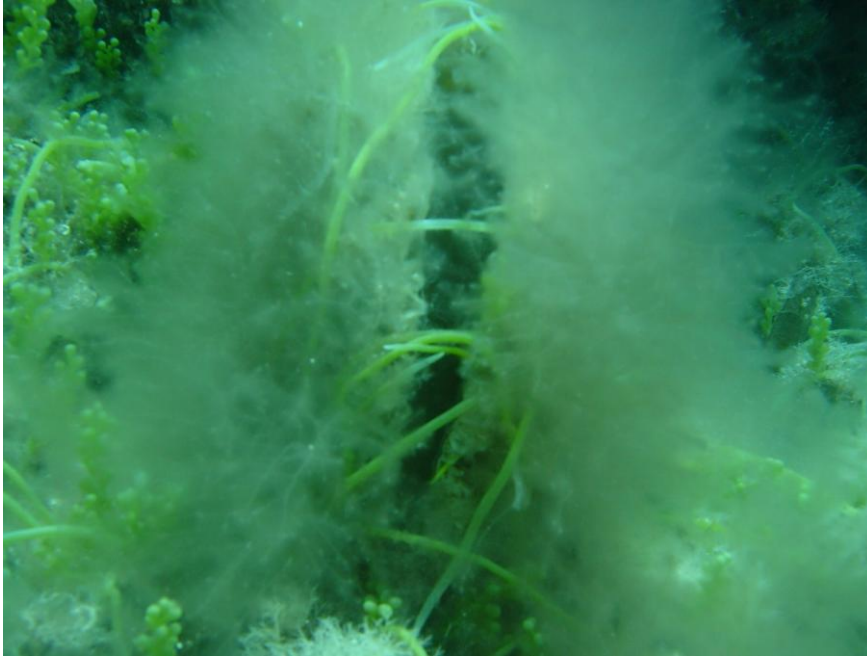


Fig. 1. Exemplar de *Pinna nobilis* recobert per les algues invasores *Caulerpa racemosa* i *Lophocladia lallemandi* al litoral de Dragonera

### Efectes d'algues invasores sobre els peixos

Els peixos són un altre grup d'organismes que es poden veure afectats per la presència d'espècies invasores. En un primer estudi que es va realitzar amb el làbrid *Coris julis* es va avaluar els possibles efectes de la presència de *Caulerpa taxifolia* al seu hàbitat. El *C. julis* és un peix d'hàbits sedentaris amb pocs moviments de tipus migratori i que, per tant, es pot veure afectat per l'arribada d'espècies invasores. En aquest estudi es va observar com els individus capturats a les zones afectades per *C. taxifolia* on predominava *Caulerpa prolifera* presentaven una coloració més verdosa que els individus de zones de *P. oceanica* (Arigoni *et al.*, 2002). La dieta d'aquesta espècie es basa en zoobentos (mol·luscs i crustacis) (Pinnegar i Polunin, 2000) de manera que poden entrar en contacte amb la caulerpenina de forma directa al ingerir aliments en la zona envaïda i de forma indirecta per la caulerpenina alliberada al medi (Amade i Lemee, 1998). Els resultats evidenciaren que les activitats dels enzims glutatió transferasa, glutatió peroxidasa i glutatió reductasa es trobaven més elevades en els fetsges d'individus obtinguts de zones amb *Caulerpa* comparat amb els obtinguts en zones de *P. oceanica*. En aquest cas tampoc hi va haver signes evidents de dany oxidatiu cel·lular, indicant una adequada resposta antioxidant a la presència de caulerpenina (Sureda *et al.*, 2006).

*Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* és una alga invasora que durant l'estiu té el seu període de màximes biomasses (Box *et al.*, 2010) formant

un entramat de frondes i estolons que recobreixen totalment el substrat generant, com s'ha comentat anteriorment, un hàbitat idoni per a moltes espècies d'invertebrats que troben refugi contra els potencial depredadors. Aquest efecte barrera ja havia estat prèviament citat per Longepierre *et al.* (Longepierre *et al.*, 2005) en l'estudi de l'efecte de *C. taxifolia* sobre el comportament alimentari de *Mullus surmuletus* (Linnaeus, 1758), observant com feia canviar els hàbits alimentaris d'aquesta espècie. Accidentalment, durant una sèrie de pesques experimentals a la Badia de Palma, es va detectar al contingut estomacal de *Spondyliosoma cantharus* (Linnaeus, 1758) una gran presència de l'alga invasora *C. racemosa* var. *cylindracea*. Aquesta espècie de peix és molt comuna a la mediterrània i es pot trobar en àrees de posidònia, sobretot en el cas dels juvenils (Bauchot i Hureau, 1990), encara que predominen també en zones rocoses. Es tracta d'un peix omnívor amb un ample espectre de preses que inclouen crustacis, poliquets, algues o amfípodes (Dulcic *et al.*, 2006). Concretament, quan es va analitzar el contingut estomacal d'aquesta espècie es va observar com al 75% d'individus capturats a la zona envaïda s'hi trobava *C. Racemosa*, la qual no es trobava en la zona control (zona sense presència de *C. racemosa*). Malgrat això, anàlisis isotòpics evidenciaren que la contribució d'aquesta alga com a aliment és molt baixa (6%), observant una major contribució de petits invertebrats (també observats dintre dels continguts estomacals), fet que evidencia que malgrat ser

ingerida, la seva assimilació en la dieta d'aquest peix és molt baixa. Finalment, individus de l'espècie *S. cantharus* capturats en zones envaïdes de *C. racemosa* presentaven activitats dels enzims antioxidants i dels enzims implicats en processos de destoxificació més elevats que aquells espècimens capturats en les zones control on no es trobava aquesta alga invasora (Box *et al.*, 2009), però sense canvis en els indicadors de dany oxidatiu. Tot això suggereix que la ingesta de l'alga es donaria de forma accidental per poder alimentar-se del petits invertebrats (Box *et al.*, 2009) (Fig 2).

El cas de *S. cantharus* a les Illes Balears no és l'únic cas de peixos en la Mediterrània que s'ha comprovat que s'alimenten de *C. racemosa*, ja que altres espècies com *Boops boops*, *Sarpa salpa* (Ruitton *et al.*, 2006) (Nizamuddin, 1991) i *Diplodus vulgaris* i *Diplodus sargus* també consumeixen aquesta caulerpal (A. Grau, observacions personals a l'illa de Mallorca).

#### **Invertebrats marins invasors de gran dispersió: el cas de *Percnon gibbesi***

El cranc alien *Percnon gibbesi* és un gràpsid que es va citar al Mediterrani per primera vegada el 1999, concretament a l'illa de Linosa (Itàlia) (Garcia i Reviriego, 2000), i en uns pocs anys va colonitzar tota la conca Mediterrània, amb la darrera cita a Líbia (Bazairi *et al.*, 2013). Aquesta espècie és originària de l'oceà Atlàntic i originàriament el seu rang de distribució inclou la costa occidental africana, des del Golf de Guinea fins a les illes Açores i a les costes orientals i occidentals d'Amèrica del Sud.

A l'any 2001 va ser trobat a les illes de Mallorca i Eivissa. En un principi la seva presència va ser constatada puntualment, però en l'actualitat està present en totes les Illes Balears i la conca del Mediterrani Occidental. Es tracta d'un bon exemple d'invertebrat amb elevades taxes de colonització, amb l'establiment de poblacions permanents a zones costaneres. L'any 2005 ja es varen descriure els seus hàbitats preferents, així com la distribució batimètrica i diversos aspectes de la biologia i ecologia de l'espècie a Balears, com exemple dels fets diferencials a tota la Mediterrània (Deudero *et al.*, 2005). Es tracta d'una espècie que acostuma a viure a poca fondària, més exactament en un rang batimètric entre els zero i els quatre metres, observant les majors densitats entre els zero i els dos metres. El seu hàbitat preferencial el constitueixen petits blocs i encletxes amb poca cobertura algal en les quals troba refugi contra els potencials depredadors (Deudero *et al.*, 2005). Es tracta d'un cranc herbívor, ja que segons els resultats de Cerdà i Frau (2005), l'estudi dels seus continguts estomacals han demostrat una presència quasi exclusiva d'algues filamentoses en la seva dieta, fet que contrasta amb la dieta d'un altre cranc amb el que comparteix hàbitat, *Pachygrapsus marmoratus* (Fabricius, 1787) el qual presenta una dieta majoritàriament omnívora. Aquest fet, juntament amb l'hàbitat preferent de *P. gibbesi* a zones amb poca cobertura vegetal, fa pensar que aquestes dues espècies de cranc, l'invasor *P. gibbesi* i el cranc autòcton *P. marmoratus*, no competeixen per l'hàbitat ni pels recursos d'aquest (Deudero *et al.*, 2005) (Fig. 3)



**Fig. 2.** Detall del contingut estomacal d'un exemplar de *Spondyliosoma cantharus* capturat a la Badia de Palma.



**Fig. 3.** Exemplar de *Percnon gibbesi* a la costa de Porto Cristo..

A l'hora d'analitzar la seva entrada a la Mar Mediterrània, la principal hipòtesi és que va entrar a través de l'Estret de Gibraltar i una explicació de l'alt èxit de colonització d'aquest decàpode pot atribuir-se a la dispersió de les fases larvàries, tant pels règims de corrents dominants com per vectors antròpics com podrien esser el desplaçament per aigües de llast amb el tràfic marítim, així com l'aqüicultura.

Una altra possible aproximació a la competència entre el cranc invasor *P. gibbesi* i *P. marmoratus* es va realitzar mitjançant marcadors d'estrès oxidatiu a l'hepatopàncrees i el contingut en carotens i vitamina E en la closca d'ambdós crancs, com indicadors dels seus hàbitats fisiològics. Els nivells de vitamina E van ser majors en les closques de *P. marmoratus*, fet indicatiu de la seva major exposició al medi aeri, mentre que els nivells de carotens foren majors a *P. gibbesi*. Aquesta major presència de carotens pot ser considerada com una adaptació a hàbitats més cavernícoles, fet que coincideix amb el prèviament descrit per Deudero i col·laboradors (Deudero *et al.*, 2005). Fisiològicament, totes les activitats dels enzims antioxidants i marcadors de dany oxidatiu varen ser més elevades en *P. gibbesi*, indicant que una exposició a l'aire li genera un major grau d'estrès fisiològic. Aquest diferents resultats evidencien diferències significants en l'activitat fisiològica d'ambdues espècies suggerint que *P. gibbesi* no seria un competidor directe pel cranc natiu *P. marmoratus*, ja que no està tan adaptat a l'exposició a l'aire i habita en zones més obscures.

## Conclusions

Actualment, a les Illes Balears s'està produint un canvi en el medi marí degut a l'aparició d'espècies marines invasores, les quals poden tenir gran nombre de vectors d'introducció i origen. En el cas de les algues marines, la seva presència pot suposar un gran canvi en els ecosistemes afectats, canviant-los i afectant especialment a aquelles espècies que han presenten un major grau d'especialització adaptativa, ja siguin alimentàries com de mimetisme de l'anterior hàbitat, i afavorint aquelles espècies més generalistes.

Aquest canvi en l'ecosistema també duu associat canvis en les estratègies tròfiques d'algunes espècies de peixos, els quals són capaços d'ingerir alguna alga malgrat la seva contribució en la seva dieta sigui de moment discutible. Malgrat tot això, s'ha de destacar la gran resposta que tenen moltes espècies marines al canvi i a la presència d'espècies invasores, en concret d'espècies algals, desenvolupant respostes adaptatives per adaptar-se al canvi.

La conservació del hàbitats submarins a les Illes Balears és molt important ja que és un del nostres principals valors naturals. De fet, gran part de les aigües litorals de les Illes Balears es troben incloses dins diverses figures de protecció (Reserves Marines o Parcs Naturals). Però és molt difícil establir barreres dintre la mar, especialment per a aquelles espècies que presenten reproducció sexual, sent una de les principals tasques per a la conservació dels nostres hàbitats submarins mantenir el nostre entorn submergit en les millors condicions possibles per fer més difícil l'assentament i l'entrada d'aquelles espècies novvingudes.

## Agraïments

Els presents estudis han estat finançats pels projectes CAULEXPAN REN2002-00701/MAR i MACROALGAS INVASORAS CTM2005-01434/MAR i ha contat amb el suport del Instituto de Salud Carlos III (CIBERobn, CB12/03/30038), del Govern de les Illes Balears i Fons FEDER (23/2012). Agrair la col·laboració de totes les persones que ha participat en qualque moment en aquesta línia de treball, en especial a Jorge Terrados, Nuria Marbà, Piluca Sarriera, Andreu Blanco, Guillem Mateu-Vicens, Pere Tauler, Toni Frau, Margalida Cerdà, Pep Alòs i totes aquelles persones que varen col·laborar amb l'antic Laboratori de Biologia Marina de la UIB durant els anys 2002-2009.

## Bibliografia

- Amade, P. i Lemee, R. 1998. Chemical defence of the Mediterranean alga *Caulerpa taxifolia*: variations in caulerpenyne production. *Aquatic Toxicol.* 43: 287-300.
- Arigoni, S., Francour, P., Harmelin-Vivien, M. i Zaninetti, L. 2002. Adaptive colouration of Mediterranean labrid fishes to the new habitat provided by the introduced tropical alga *Caulerpa taxifolia*. *J. Fish Biol.* 60: 1486-1497.
- Bazairi, H., Sghaier, Y.R., Benamer, I., Langar, H., Pergent, G., Verlaque, M., Soussi, J.B. i Zenetos, A. 2013. Alien marine species of Libya: First inventory and new records in El-Kouf National Park (Cyrenaica) and the neighbouring areas. *Med. Mar. Sci.* 14: 451-462.
- Boudouresque, C.F. i Verlaque, M. 2002. Biological pollution in the Mediterranean Sea: invasive versus introduced macrophytes. *Mar. Poll. Bull.* 44: 32-38.
- Box, A. 2008. Ecología de caulerpales: fauna y biomarcadores, Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados. Universidad de las Islas Baleares, Palma.
- Box, A., Deudero, S. i Pons, G.X. 2008a. Canvis en la composició d'espècies, diversitat i abundàncies de la fauna de mol·luscs associada a *Posidonia oceanica* després de la substitució per *Caulerpa racemosa*, in: Pons, G.X. (Ed.), V Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears. Societat d'Història Natural de les Illes Balears, Palma de Mallorca, pp. 268-269.
- Box, A., Deudero, S., Sureda, A., Blanco, A., Alòs, J., Terrados, J., Grau, A.M. i Riera, F. 2009. Diet and physiological responses of *Spondyliosoma cantharus* (Linnaeus, 1758) to the *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* invasion. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 380: 11-19.
- Box, A., Guerao, G., Abello, P. i Deudero, S. 2007. Occurrence of *Automate branchialis* Holthuis & Gottlieb, 1958 (Decapoda, Alpheidae) in the Balearic islands (western Mediterranean Sea). *Crustaceana.* 80: 495-501.
- Box, A., Martin, D. i Deudero, S. 2010. Changes in seagrass polychaete assemblages after invasion by *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Chlorophyta: Caulerpales): community structure, trophic guilds and taxonomic distinctness. *Sci. Mar.* 74: 317-329.
- Box, A., Sureda, A., Terrados, J., Pons, A. i Deudero, S. 2008b. Antioxidant response and caulerpenyne production of the alien *Caulerpa taxifolia* (Vahl) epiphytized by the invasive algae *Lophocladia lallemandii* (Montagne). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 364: 24-28.
- Pons G.X., Alvarez, C. 2010. Aràcnids i mol·luscs introduïts a les Illes Balears. En: Álvarez, C. (ed.). Seminari sobre espècies introduïdes i invasores a les Illes Balears. Conselleria de Medi Ambient i Mobilitat. p. 19-38
- Cerdà, M., Frau, A. 2005. Biologia del cranc exòtic *Percnon gibbesi* (Decapoda: Plagusidae) al litoral de Mallorca. Morfometria, Trofisme i Fecunditat. Memoria treball Beca Sa Nostra 2005. *Soc. Hist. Nat. Illes Balears.*
- Carlton, J.T. i Geller, J.B. 1993. Ecological roulette. the global transport of nonindigenous marine organisms. *Science.* 261: 78-82.
- Deudero, S., Frau, A., M., C. i Hampel, H. 2005. Distribution and densities of the decapod crab *Percnon gibbesi*, an invasive Grapsidae, in western Mediterranean waters. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 285: 151-156.
- Dulcic, J., Lovrenc, L., Glamuzina, B., Bartulovic, V. 2006. Diet of *Spondyliosoma cantharus* and *Diplodus puntazzo* (Sparidae) in the Eastern Central Adriatic. *Cybium.* 30:115-122.
- Elias, S.J., Arner, E.S., Zhong, L. i Holmgren, A. 1999. In: Packer L (ed) Methods in Enzymatic Analysis. Oxidants and Antioxidants. Academic Press, California vol. 300: pp 226-239.
- Garcia, L. i Reviriego, B. 2000. Presència del cranc subtropical *Percnon gibbesi* (H. Milne Edwards, 1853), (Crustacea, Decapoda, Grapsidae) a les Illes Balears. Primera cita a la Mediterrània occidental. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears.* 43: 81-89.
- Grau, G. 2010. Peixos continentals i fauna marina. En: Álvarez, C. (ed.). Seminari sobre espècies introduïdes i invasores a les Illes Balears. Conselleria de Medi Ambient i Mobilitat. p. 47-52.
- Gross, H., Goeger, D.E., Hills, P., Mooberry, S.L., Ballantine, D.L., Murray, T.F., Valeriotte, F.A. i Gerwick, W.H. 2006. Lophocladines, bioactive alkaloids from the red alga *Lophocladia* sp. *J. Nat. Prod.* 69: 640-644.
- Mateu-Vicens, G., Box, A., Deudero, S., Rodriguez, B. 2010. Comparative analysis of epiphytic foraminifera in sediments colonized by seagrass *Posidonia oceanica* and invasive macroalgae *Caulerpa* spp. *The J. Foram. Res.* 40: 134-147.
- Kennedy, H., Richardson, C.A., Duarte, C.M. i Kennedy, D.P. 2001. Diet and association of *Pontonia pinnophylax* occurring in *Pinna nobilis*: insights from stable isotope analysis. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 81: 177-178.
- Levi, F. i Francour, P. 2004. Behavioural response of *Mullus surmuletus* to habitat modification by the invasive macroalga *Caulerpa taxifolia*. *J. Fish Biol.* 64: 55-64.
- Livingstone, D.R. 2001. Contaminant-stimulated reactive oxygen species production and oxidative

- damage in aquatic organisms. *Mar. Poll. Bull.* 42: 656-666.
- Longepierre, S., Robert, A., Levi, F. i Francour, P. 2005. How an invasive alga species (*Caulerpa taxifolia*) induces changes in foraging strategies of the benthivorous fish *Mullus surmuletus* in coastal Mediterranean ecosystems. *Biodivers. Conserv.* 14: 365-376.
- Mienis, H.K. 1999. *Strombus persicus* on the fishmarket of Yafo, Israel. *De Kreukel* 35: 112.
- Olenin, S. i Leppäkoski, E. 1999. Non-native animals in the Baltic Sea: alteration of benthic habitats in coastal inlets and lagoons. *Hydrobiol.* 393: 233-243.
- Martino, S. i Grau, A.M. 2010. Presència de la donzella, *Coris julis* (Linnaeus, 1758), amb lliurea atlàntica (Osteichthyes: Labridae) a les Illes Balears (Mediterràniaoccidental). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 53: 153-160.
- Mas, X. i Box, A. 2013. Contribució al coneixement d'espècies marines poc conegudes de l'illa d'Eivissa. VI Jornades de Medi Ambient. Soc. Hist. Nat. Balears. Ponències i Resums. 317-318. Eivissa.
- Massuti, E., Stefanescu, C. 1993 First record of *Seriola fasciata* (Bloch, 1793) (Osteichthyes: Carangidae) in the Mediterranean. *J. Fish Biol.* 4:143-144.
- Pedrotti, M.L., Marchi, B. i Lemee, R. 1996. Effects of *Caulerpa taxifolia* secondary metabolites on the embryogenesis, larval development and metamorphosis of the sea urchin *Paracentrotus lividus*. *Oceanol. Acta.* 19: 255-262.
- Pesando, D., Huitorel, P., Dolcini, V., Amade, P. i Girard, J.P. 1998. Caulerpenyne interferes with microtubule-dependent events during the first mitotic cycle of sea urchin eggs. *European J. Cell Biol.* 77: 19-26.
- Pesando, D., Lemee, R., Ferrua, C., Amade, P. i Girard, J.P. 1996. Effects of caulerpenyne, the major toxin from *Caulerpa taxifolia* on mechanisms related to sea urchin egg cleavage. *Aquatic Toxicol.* 35: 139-155.
- Pinnegar, J.K. i Polunin, N.V.C. 2000. Contributions of stable-isotope data to elucidating food webs of Mediterranean rocky littoral fishes. *Oecologia* 122: 399-409.
- Pons G.X., Alvarez, C. 2010. Aràcnids i mol·luscs introduïts a les Illes Balears. En: Álvarez, C. (ed.). Seminari sobre espècies introduïdes i invasores a les Illes Balears. Conselleria de Medi Ambient i Mobilitat. p. 39-47.
- Rodríguez, C., Box, A., Deudero, S., Guerra Garcia, J.M. 2009. Amfípodes associats a comunitats algals i detritus amb presència de l'alga invasora *Lophocladia lallemandii* al Parc Natural de sa Dragonera (Illes Balears). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears.* 52: 203-220.
- Ruitton, S., Verlaque, M., Aubin, G. i Boudouresque, C.F. 2006. Grazing on *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean Sea by herbivorous fishes and sea urchins. *Vie Et Milieu-Life Environ.* 56: 33-41.
- Ruiz, G.M., Carlton, J.T., Grosholz, E.D. i Hines, A.H. 1997. Global invasions of marine and estuarine habitats by non-indigenous species: Mechanisms, extent, and consequences. *Am. Zool.* 37: 621-632.
- Sánchez-Tocino, L., Hidalgo, F. i Pontes, M. 2007. Primera cita de *Fistularia commersonii* Ruppell, 1838 (Osteichthyes: Fistulariidae) en aigües mediterrànies de la Península Ibérica. *Zool. baetica.* 18: 79-84.
- Strefitaris, N., Zenetos, A. i Papathanassiou, E. 2005. Globalisation in marine ecosystems: the story of non-indigenous marine species across European Seas. *Oceanog. Mar. Biol. ann. rev.* 43: 419-453.
- Sureda, A., Box, A., Deudero, S. i Pons, A. 2008. Reciprocal effects of caulerpenyne and intense herbivorism on the antioxidant response of *Bittium reticulatum* and *Caulerpa taxifolia*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* in press: doi:10.1016/j.ecoenv.2007.1012.1007.
- Sureda, A., Box, A., Ensenat, M., Alou, E., Tauler, P., Deudero, S. i Pons, A. 2006. Enzymatic antioxidant response of a labrid fish (*Coris julis*) liver to environmental caulerpenyne. *Comp. Biochem. Physiol. C Toxicol. Pharmacol.* 144: 191-196.
- Tejada, S., Deudero, S., Box, A., Sureda, A. 2012. Physiological response of the sea urchin *Paracentrotus lividus* fed with the seagrass *Posidonia oceanica* and the alien algae *Caulerpa racemosa* and *Lophocladia lallemandii*. *Mar. Environ. Res.* 83:48-53.
- Uchimura, M., Sandeaux, R. i Larroque, C. 1999. The enzymatic detoxifying system of a native Mediterranean Scorpio fish is affected by *Caulerpa taxifolia* in its environment. *Environ. Sci. Technol.* 33: 1671-1674.
- Verlaque, M. 2001. Checklist of the macroalgae of Thau Lagoon (Hérault, France), a hot spot of marine species introduction in Europe. *Oceanol. Acta.* 24: 29-49.

