

HISTÒRIES D'ÈXIT DESPRÉS DE 25 ANYS DE PROTECCIÓ: EL CAS DE *Pinna nobilis* i *Pinna rudis*

Maite Vázquez Luis

Elvira Álvarez

Salud Deudero

Instituto Español de Oceanografía (IEO). Centro Oceanográfico de Baleares. Muelle de Poniente s/n, 07015 Palma,

maite.vazquez@ieo.es,

elvira.alvarez@ieo.es,

salud.deudero@ieo.es

Vázquez, M., Álvarez, E. i Deudero, S. (2020). Històries d'èxit de 25 anys de protecció. El cas de *Pinna nobilis* i *Pinna rudis*. In: Grau, A.M., Fornós, J.J., Mateu, G., Oliver, P.A., Terrasa, B. (2020) *Arxipèlag de Cabrera: Història Natural*. Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears, 30. 738 pp. ISBN 978-84-09-23487-5.

RESUM

Aquest capítol es centra en dues espècies de mol·luscs bivalves presents al Parc Nacional de Cabrera, les nacres *Pinna nobilis* i *Pinna rudis*. Les dues espècies estan protegides legalment i són vulnerables a multitud d'impactes. Abans de la creació del Parc, es coneixia la seva presència en aigües de Cabrera, tot i que era ocasional. Es presenta un resum del coneixement adquirit durant els darrers anys en aspectes com la densitat i distribució de poblacions, les preferències d'hàbitat i de profunditat, la demografia poblacional d'ambdues espècies (taxa de reclutament, taxa de mortalitat i taxa de creixement net); l'estructura de talles, edat i la taxa de creixement d'ambdues espècies. A més, en el cas de *P. nobilis* es va investigar l'assentament larvari i la inferència de l'època de posta en l'estudi del desenvolupament gonadal, nivell isotòpic de $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$, capacitat com a indicador de metalls pesants, resposta antioxidant, marcadors de dany oxidatiu i producció d'espècies reactives d'oxigen. Es destaca la importància que tenia el Parc per a les dues espècies després de més de 20 anys de protecció efectiva, perquè les poblacions de Cabrera eren de les més denses de tota la Mediterrània. També es tracta l'esdeveniment de mortalitat massiva de *Pinna nobilis*, de conseqüències catastròfiques i que en pocs mesos va devastar la població de Cabrera. Finalment, tota aquesta informació és discutida posant de rellevància punts claus per a la gestió.

Paraules clau: *Pinna nobilis*, Parc Nacional de Cabrera, densitat, distribució, demografia, conservació, mortalitat massiva

SUMMARY

This chapter is focused on two vulnerable bivalve sessile species present in the Cabrera National Park, *Pinna nobilis* and *Pinna rudis*. Both species are protected by law and are vulnerable to many impacts. Prior to the creation of the park, the presence of these species was known in the waters of Cabrera but the presence was occasional. A summary of the knowledge acquired during the last years in aspects such as density and distribution of populations, habitat and depth preferences, population demography of the two species (recruitment rate, mortality rate and net growth rate); the size structure, age, and growth rate of both species are provided. In addition, in the case of *P. nobilis* we investigated the larval establishment and inference of the time of implantation in the study of gonad development, isotopic level of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$, capacity as an indicator of heavy metals, antioxidant response, markers of oxidative damage and production of reactive oxygen species. It emphasizes the importance that the Park had for these two species and the result of the effectiveness of more than 20 years of effective protection since the populations of Cabrera presented one of the highest density of all the Mediterranean for both species. The mass mortality event that in a few months has reached Cabrera with catastrophic consequences for the endemic species *Pinna nobilis* is also discussed. Finally, all this information is discussed in a global context highlighting key points for management strategies.

Keywords: *Pinna nobilis*, Cabrera National Park, densities, distribution, demography, conservation, mass mortality

INTRODUCCIÓ

Parlar de la nacra al Parc Nacional de Cabrera és parlar d'una història d'èxit. Èxit de gestió, èxit d'investigació científica, èxit de conservació, èxit de recuperació d'una espècie protegida que tenia les poblacions minvades, en fi, un èxit compartit a molts de nivells. En aquest capítol s'analitzarà la importància d'aquesta espècie a l'entorn del Parc a partir dels estudis realitzats en el marc de diferents projectes d'investigació.

La nacra, per la seva mida, ha estat una espècie coneguda des d'antic a la cultura mediterrània, on les seves poblacions eren explotades amb finalitats comercials. De la nacra s'extreia el nacre, material molt apreciat pels romans, que l'utilitzaven amb finalitat decorativa. La seva explotació perdurà fins a principis del segle XX, quan es feia servir per a la fabricació de botons (Sicília, Malta). També el biso s'utilitzava com a material tèxtil, molt apreciat per la seva resistència, conegut com "seda de mar" i, a més, en diferents regions mediterrànies també tenia interès culinari (Grècia, Còrsega, Malta i Croàcia). A Balears la presència d'aquesta espècie es troba documentada des del segle XVIII, en descriure's les importants poblacions de la Badia de Pollença (Berard, 1789).

De nacres, al Parc n'hi ha dues espècies, la nacra i la nacra de roca: *Pinna nobilis* i *Pinna rudis*, ambdues descrites per primera vegada per Linneo al 1758. La nacra *Pinna nobilis* Linnaeus, 1758, és endèmica del mar Mediterrani. És una espècie longeva que pot assolir els 50 anys de edat (Rouanet *et al.*, 2015) i que es distribueix des d'aigües somes fins els 60 m de fondària (García-March, 2003; Templado *et al.*, 2004). És el mol·lusc de major mida del Mediterrani i el segon més gran del món, podent aconseguir una longitud de valva de 120 cm (Zavodnik *et al.*, 1991). Viu semi enfonsat en fons d'arena, detritus i praderies de fanerògames marines (Katsanevakis, 2007). El seu hàbitat prioritari són les praderies de *Posidonia oceanica*, d'importància rellevant en la sostenibilitat de la biodiversitat Mediterrània. En les darreres dècades, les poblacions d'aquest mol·lusc es van veure greument reduïdes per la conjunció de causes diverses: extracció il·legal amb fins decoratius i comercials, deteriorament generalitzat de les zones costaneres, mortalitat provocada pel fondeig d'embarcacions (Richardson *et al.*, 1999; Katsanevakis, 2007; Rabaoui *et al.*, 2007) i/o la regressió que sofreix el seu principal ecosistema, les praderies de *P. oceanica* (Marba *et al.*, 1996). Actualment està protegida legalment i està inclosa a l'Annex II del Conveni de Berna, l'Annex II del Conveni de Barcelona (SPA / BD Protocol 1995), l'Annex IV de la Directiva d'Hàbitats (2007) i a l'Annex II del Catàleg Espanyol d'Espècies Amenaçades (Categoria: Vulnerable, Reial Decret 139/2011), tot i que la seva captura estava expressament prohibida a les Illes Balears des de 1987 (Art. 8, Ordre del conseller d'Agricultura i Pesca de 22 de gener de 1987).

La nacra de roca *Pinna rudis* Linnaeus, 1758 es distribueix de forma discontinua per al mar Mediterrani i l'oceà Atlàntic (des de Santa Helena i el Golf de Guinea a les Illes Canàries, Açores i Península Ibèrica Meridional, Poppe i Goto, 1993; Barea *et al.*, 2008). Igual que *P. nobilis*, aquesta espècie ha patit diverses amenaces antropogèniques i està inclosa en l'Annex II del Conveni de Berna, a l'Annex II del Conveni de Barcelona (SPA / BD Protocol 1995), al Llistat d'Espècies Silvestres en Règim de Protecció Especial (Reial Decret 139/2011) i la seva captura està prohibida a les Illes Balears (Decret 26/2015). Pot arribar a una mida d'entre 40 i 50 cm de longitud (Barea *et al.*, 2008) i viu en una gran varietat d'ambients com arena, roca, fons detrític o de grava (Poppe i Gotto, 1993) a profunditat de 20 a 70 metres (Giacobbe i Leonardi, 1987). Tot i que és més comuna en fons durs també es pot trobar en praderies de *Posidonia oceanica* (García-March i Kersting, 2006).

La degradació costanera, la fragmentació i la pèrdua d'hàbitat socaven la biodiversitat marina, especialment en el cas de les espècies sèssils. Les poblacions de nacra són un clar exemple d'espècie que respon a diversos tipus d'impacte reflectint la qualitat de l'hàbitat. Les àrees marines protegides eliminen els principals impactes per a la nacra i proporcionen un escenari òptim per al desenvolupament de les seves poblacions. A més, en el cas del Parc Nacional de Cabrera, les zones de màxima protecció coincideixen amb zones de badia abrigades a l'exposició de l'onatge i on es desenvolupen praderies de *Posidonia oceanica*, hàbitat prioritari per al desenvolupament de *P. nobilis*. Per tot això, la nacra al Parc representa una història d'èxit i demostra l'efectivitat de

la creació d'espais marins protegits, i com la protecció efectiva genera la recuperació d'espècies sèssils vulnerables. Avui a les amenaces amb les que comptava la nacra, se li suma una nova i greu amenaça, de la qual parlarem més endavant.

En aquest capítol es farà un repàs de tot el coneixement generat sobre les dues espècies de nacres, *Pinna nobilis* i *Pinna rudis*, des de la creació del Parc Nacional de Cabrera. Veurem quin era el coneixement que es tenia prèviament, quin és el coneixement que s'han adquirit al llarg d'aquests anys i quina és la situació actual de les dues espècies al Parc.

MATERIAL I MÈTODES

L'estudi dels diferents aspectes ecològics de la nacra (*P. nobilis*) i la nacra de roca (*P. rudis*) s'han dut a terme en el marc del Projecte PINNA: "Estado de conservación del bivalvo amenazado *Pinna nobilis* en el Parque Nacional de Cabrera" (024/2010), finançat per l'Organismo Autónomo de Parques Nacionales del Ministeri de Medi Ambient, Rural i Marí. La durada del projecte va ser de tres anys (2011 a 2014) i estava centrat principalment en l'estudi de les poblacions de *P. nobilis* al Parc, tot i que també es va realitzar un esforç per augmentar el coneixement de l'espècie congenèrica *P. rudis*. En el marc d'aquest projecte es va estudiar, per a les dues espècies, la distribució espacial, paràmetres poblacionals clau com la densitat i demografia, l'estructura de talles, l'edat i la taxa de creixement. A més, en el cas de *P. nobilis* es va investigar l'assentament larvari i la inferència de l'època de posta a partir de l'estudi del desenvolupament gonadal. Finalment es va estudiar la concentració de metalls pesats, la resposta fisiològica i es va determinar el grau de epifitisme per algues invasores, entre d'altres activitats transversals.

Per cobrir tots aquests objectius, s'han realitzat mostrejos amb escafandre autònom en diverses àrees del Parc des de 2011 fins a l'actualitat (2020). Cal destacar el gran esforç de mostreig dut a terme en el marc d'aquest projecte, amb un nombre molt elevat d'immersions, mostrejant-se els diferents hàbitats presents al Parc en una àmplia escala geogràfica i a diferents cotes batimètriques. A més, la cobertura temporal d'alguns aspectes ecològics ha estat de les més llargues que hi ha per a aquestes espècies (ex. seguiment de paràmetres demogràfics). Com que les metodologies utilitzades són diverses i majoritàriament s'han explicat en treballs ja publicats, es poden consultar en els treballs citats com a referències bibliogràfiques si es vol obtenir més informació detallada sobre aspectes metodològics. Com que no és possible detallar tots els resultats obtinguts durant aquests anys d'estudi en aquest capítol, s'han seleccionat els aspectes més rellevants que permeten una visió global del coneixement generat sobre aquestes dues espècies de nacres al Parc i sobre la situació actual.

RESULTATS

Pinna nobilis

Densitat d'individus i distribució de talles de nacra al PN de Cabrera

Al Parc Nacional de Cabrera, es varen trobar individus de nacra des dels 2 m fins als 46 m de fondària. En total s'han comptabilitzat 1.873 individus, dels quals el 15.22% eren morts. L'espècie apareix distribuïda en tot el perímetre del Parc (Fig. 1A), amb densitats variables des d'àrees sense presència d'exemplars, fins densitats molt elevades. La densitat mitjana global d'exemplars de *P. nobilis* a Cabrera és de 3.76 ± 0.25 ind/100 m², però aquestes densitats varien entre hàbitats (Fig. 1B, Fig. 3). La majoria d'individus van ser detectats en les praderies de *P. oceanica*, confirmant la preferència d'aquesta espècie per aquest hàbitat. La densitat mitjana en praderies de *P. oceanica* va ser de 5.13 ± 0.32 ind/100 m², amb valors màxims de 37.33 ind/100 m² a 8 m de profunditat a Santa Maria, que és el lloc que presenta la major densitat de tota l'àrea protegida. Les densitats de *P. nobilis* a la resta d'hàbitats van ser menors: a detrític la mitjana va ser de 0.69 ± 0.2 ind/100 m² (mín.-màx: 0-4.44); en fons rocosos la mitjana va ser de 0.43 ± 0.11 ind/100 m² (0-4.17); en fons

de sorra la mitjana va ser de 0.22 ± 0.07 ind/100 m² (0-1.38); i en els hàbitats de coves la mitjana va ser de 0.51 ± 0.17 ind/100 m² (0-1.49). Pel que fa a la densitat d'individus de *P. nobilis* per fondàries estudiades, s'observa que les majors densitats es troben a cotes batimètriques de 10 i 20 m, disminuint el nombre d'exemplars en augmentar la profunditat (Fig. 1C, Fig. 2). La densitat mitjana a la cota de 0 a 10 m va ser de 4.68 ± 0.45 ind/100 m²; de 10 a 20 va ser de 5.24 ± 0.5 ind/100 m²; de 20 a 30 va ser de 2.24 ± 0.44 ind/100 m²; de 30 a 40 va ser de 0.58 ± 0.12 ind/100 m² i de 40 a 50 va ser de 0.23 ± 0.01 ind/100 m² (Vázquez-Luis *et al.*, 2014b, 2015b; Vázquez-Luis i Deudero, 2014; Deudero *et al.*, 2015).

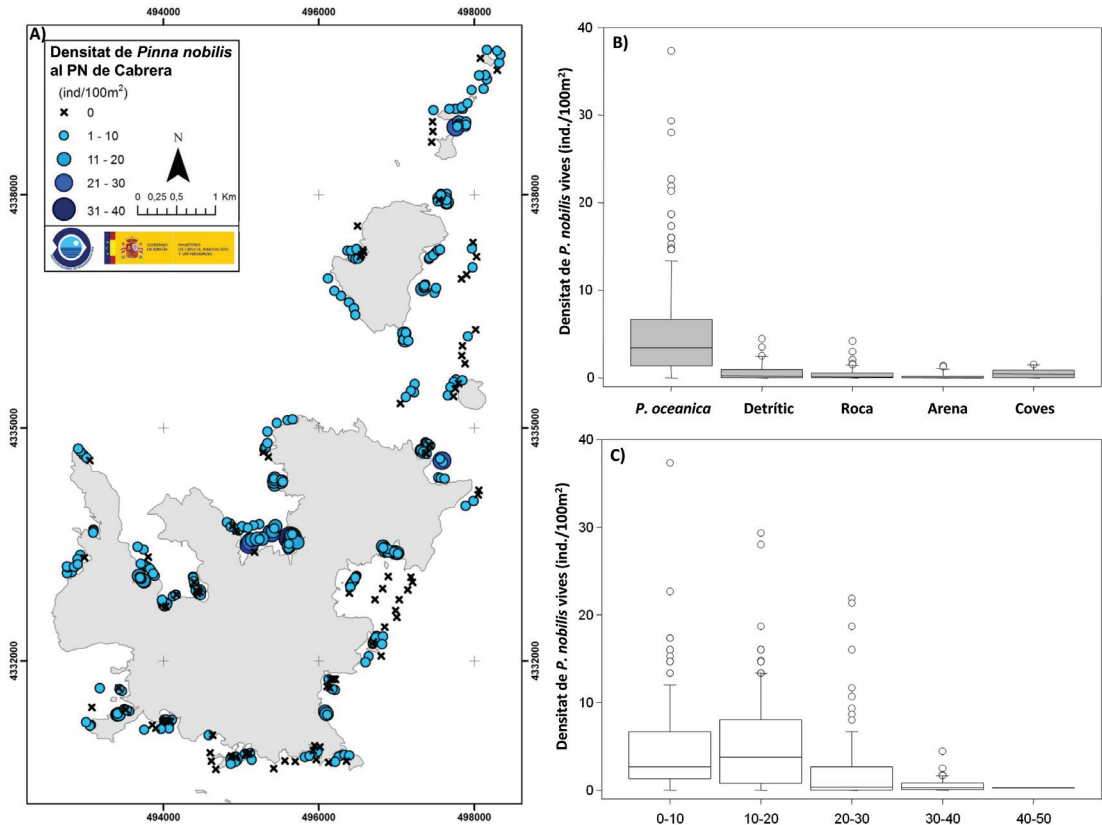


Figura 1. A) Distribució de la densitat de *P. nobilis* (ind/100m²) al PN de Cabrera, quantificada mitjançant censos visuals. B) Densitat de *P. nobilis* (ind/100m²) al PN de Cabrera en els diferents hàbitats avaluats. C) Densitat de *P. nobilis* (ind/100m²) al PN de Cabrera en les diferents cotes de profunditat avaluades.

Amb les dades obtingudes durant els mostrejos es varen generar models espacials predictius de distribució de l'espècie al Parc dels 0 als 50 m de profunditat, tenint en compte diverses variables ambientals: profunditat, pendent, exposició a l'onatge, tipus d'hàbitat, diversitat de hàbitats i zonificació del Parc. El mapa de predicció va mostrar que l'espècie és present a tot el Parc fins a 50 metres de profunditat ressaltant la presència d'alguns *hotspots* (Vázquez-Luis *et al.*, 2014b).

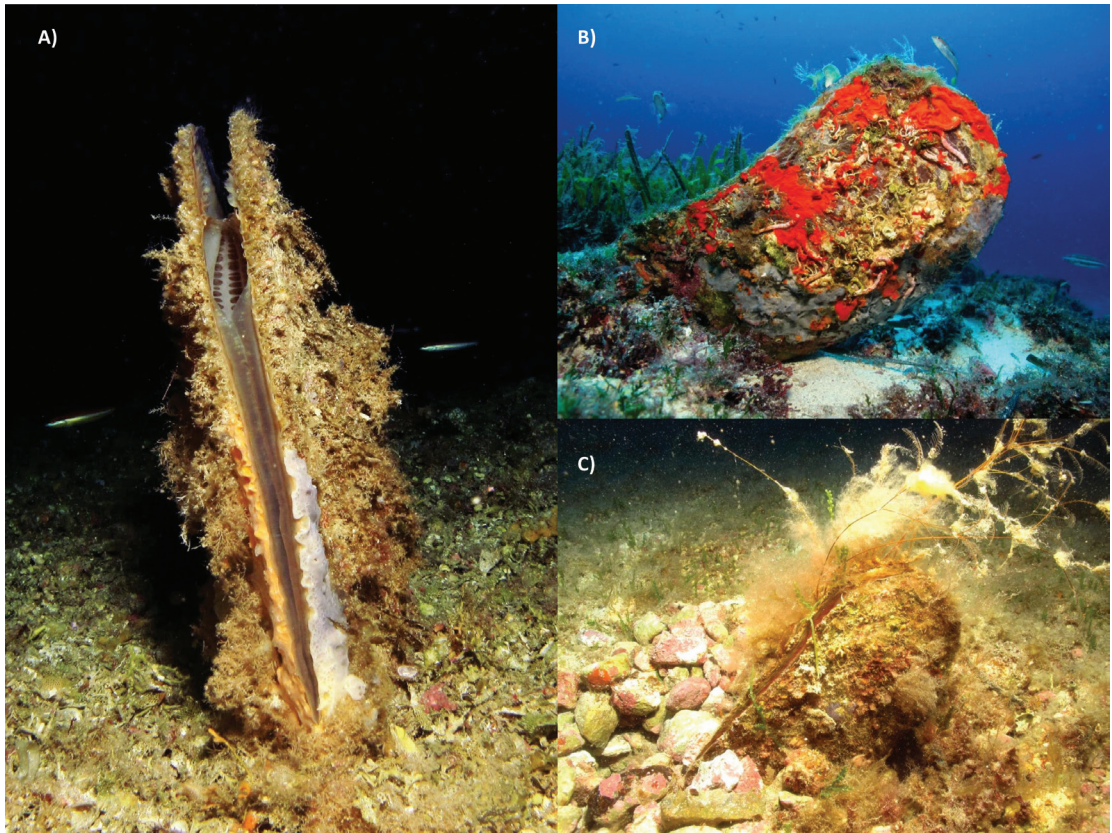


Figura 2. A) Exemplar adult de *P. nobilis* sobre fons detrític de la cova de Ensiola, B) exemplar de *P. nobilis* en praderia de *P. oceanica* amb comunitat d'epibionts típica de fondària; i C) exemplar de *P. nobilis* trobat a 46 m de fondària sobre fons detrític.

Quant a la distribució de classes de talla de *P. nobilis* al Parc, els exemplars censats presentaven un ampli rang de mida ja que s'han detectat individus amb una amplada màxima de la valva d'entre 2.2 i 30 cm. En termes generals, la població de *P. nobilis* de Cabrera es caracteritza per presentar individus de totes les classes de talla, predominant els individus d'amplada compresa entre 15 i 20 cm. Pel que fa als exemplars morts el patró és similar. Es tracta per tant, una població madura amb un elevat nombre d'individus reproductors.

Paral·lelament, es van estudiar les poblacions de *P. nobilis* a la resta d'illes de l'arxipèlag balear (Deudero *et al.*, 2015) i es van relacionar a nivell de mesoescala amb dades de variables ambientals (profunditat mitjana, altura de l'ona, altura màxima d'ona, període d'onades amb alta energia i direcció mitjana d'ona font) i de factors d'estrès derivats de l'ésser humà (fondeig d'embarcacions, nivell de protecció, efluent d'aigües residuals, activitat de pesca i busseig) que també es van recopilar. Els models resultants mostraren que els factors d'origen antròpic són els que expliquen en major mesura la variabilitat en la densitat espacial i distribució de la nacra, essent el fondeig d'embarcacions el factor que es va revelar com el de major impacte sobre la densitat de nacres, cosa que es va contrastar en un experiment manipulatiu (Vázquez-Luis *et al.*, 2015a). Les variables ambientals, en canvi, van jugar un paper secundari en la densitat, cosa que indica que la protecció i restricció d'usos en espais marins, com és el cas del Parc Nacional de Cabrera, és fonamental per a la recuperació i sostenibilitat de comunitats bentòniques (Fig. 3).

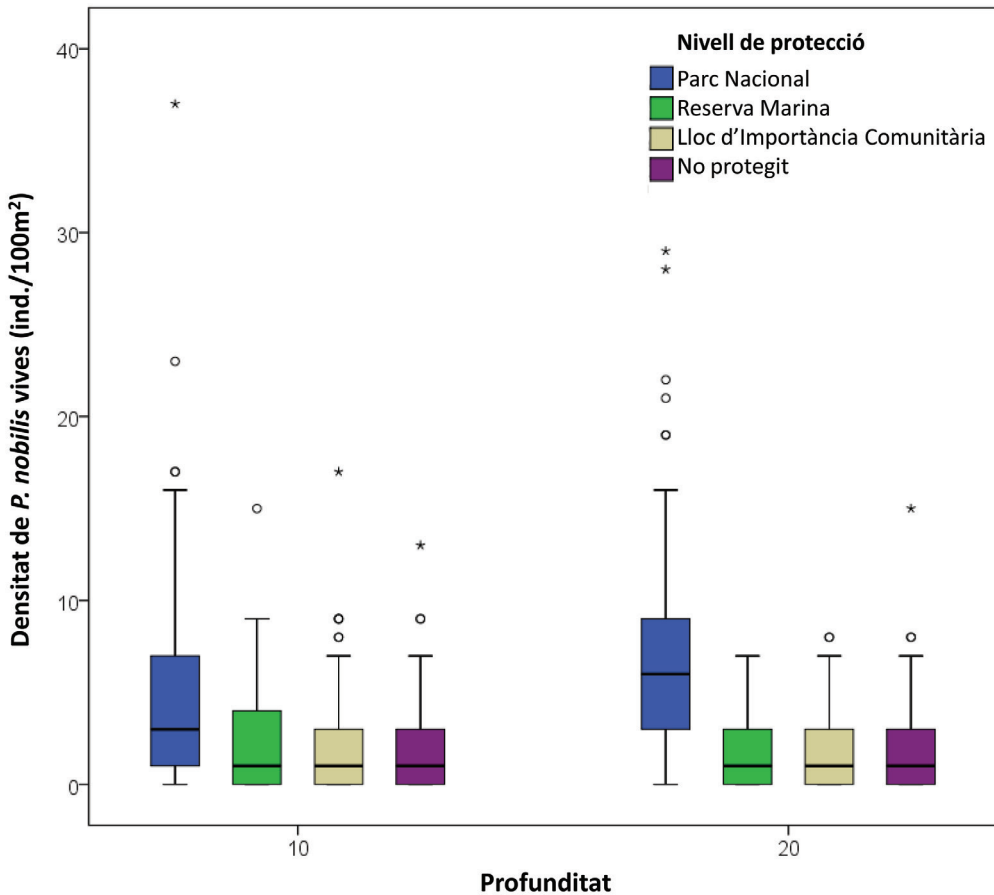


Figura 3. Densitat de *P. nobilis* (ind./100m²) a totes les localitats avaluades de Balears, separades pel seu grau de protecció: Parc Nacional, Reserva Marina, Lloc d'Importància Comunitària i no protegit.

Edat i creixement

Pel que fa a l'edat i el creixement de *Pinna nobilis* a Cabrera, es van estudiar dues poblacions diferenciades per l'hidrodinamisme, la primera a una zona protegida (Cala Gandulf), i l'altra en una zona exposada (Freus). De les nacres estudiades en zones de baix hidrodinamisme, l'edat màxima trobada va ser 27 anys (García-March *et al.* 2020), mentre que a les zones exposades l'edat màxima va ser de 14 anys. Aquesta diferència en l'esperança de vida es va constatar en les diferències en el percentatge d'individus morts de les dues poblacions estudiades: a la zona protegida el nombre dels individus morts de la població era del 10-17% del total, mentre que a la zona exposada entre el 44 i el 60% d'individus eren morts. A més d'aquestes diferències en longevitat, el creixement dels individus també depèn de la hidrodinàmica. En zones protegides, a una mateixa edat, la nacra pot tenir fins al doble de longitud que a una zona exposada; per exemple, una nacra de 10 anys en es Freus (10 m de profunditat, exposat) mesura 28 cm de longitud mentre que a Santa Maria (20 m de profunditat, protegit) en mesura uns 57 cm (Martínez *et al.*, 2014). També la forma que presenten és diferent, essent els individus adults més allargats en zones no abrigades i més aplatats i amples en zones protegides, cosa que no passa amb els juvenils (Arenós, 2013; Lozano, 2013).

A més, aquestes diferències en creixement dels individus adults també s'han constatat experimentalment en els primers anys de vida de *P. nobilis*, demostrant-se canvis en els valors isotòpics de $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$, en el creixement i les taxes de supervivència, en juvenils exposats a nivells diferents d'activitat humana (Alomar *et al.*, 2015). Per això, es van fondejar 25 juvenils

de nacra al Port d'Andratx i altres 26 a Cala de Santa Maria (Cabrera), els qual van ser objecte de seguiment durant 2 anys. Els resultats indicaren que els individus d'entorns eutròfics (Port d'Andratx) van mostrar majors taxes de creixement i de nivell isotòpic (tant en múscul com en mantell). No obstant això, la supervivència en aquests ambients eutròfics amb pressió humana va ser molt més baixa, ja que el 50% dels individus van morir al Port d'Andratx durant els primers 5 mesos, mentre que prop del 90% va sobreviure a Cabrera després dels dos anys d'estudi (Alomar *et al.*, 2015).

Demografia de poblacions

Per dur a terme el seguiment demogràfic de les poblacions de *Pinna nobilis* al PN de Cabrera es van instal·lar 8 parcel·les de superfície coneguda (100 m² cada parcel·la) a tres profunditats (10, 20 i 30 m) en les quals es van marcar tots els exemplars de nacra presents (Fig. 4). A més, es van instal·lar 2 parcel·les de control en una localitat fora del Parc (Sant Elm, a Mallorca) a 10 m de fondària, on també es van marcar tots els exemplars presents. Des de 2011 s'han realitzat visites anuals per controlar els exemplars marcats i marcar els nous exemplars reclutats (Vázquez-Luis *et al.*, 2015b, 2017b).

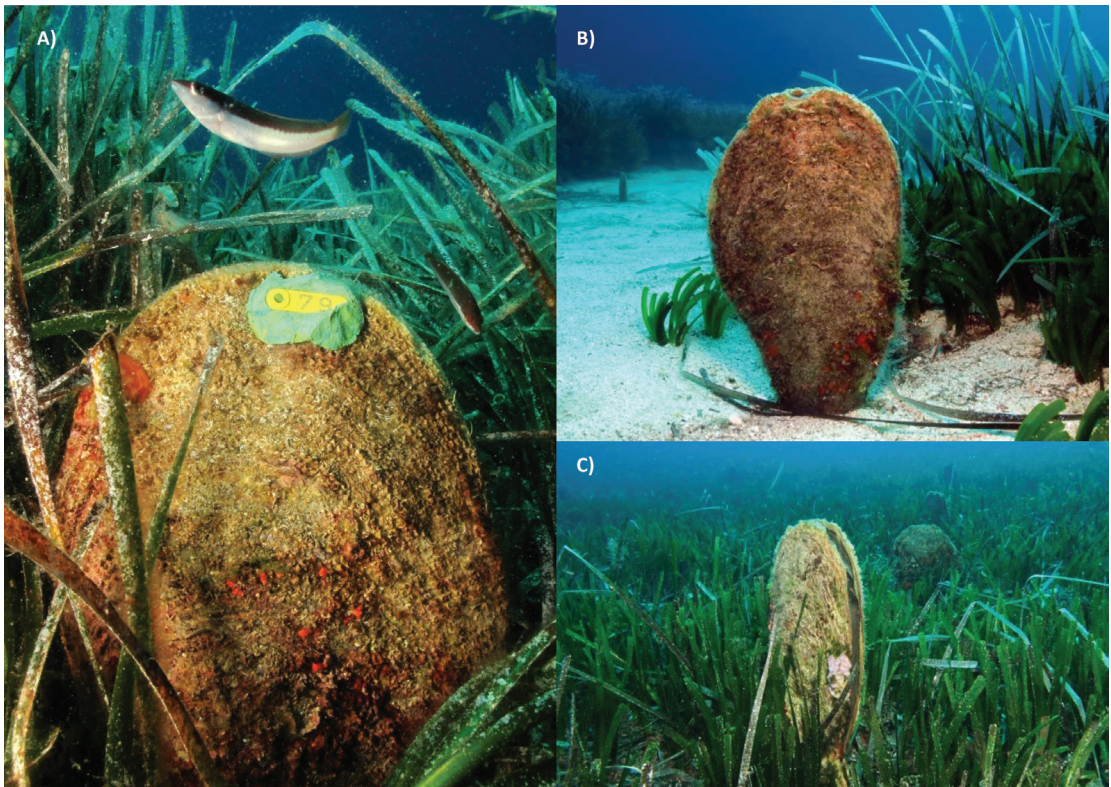


Figura 4. A) Exemplar adult de *P. nobilis* marcat a la valva amb massilla i una etiqueta numerada a una de les parcel·les de demografia del PN de Cabrera a 10 m de profunditat. B) Exemplar adult en fons de sorra i praderia de *P. oceanica* en Santa Maria. C) Població de nacres d'alta densitat a Cala Gandulf a l'hivern, quan la fulla de *P. oceanica* està més baixa.

Durant el període de seguiment (fins a 2015) en les parcel·les permanents es marcaren un total de 278 exemplars de nacra, dels quals 248 ho van ser a les parcel·les del Parc Nacional de Cabrera (156 a 10 m, 68 a 20 m i 24 a 30 m) i 30 a la zona control de Sant Elm, a 10 m de profunditat. Després de quatre anys de seguiment, la supervivència dels individus marcats inicialment en 2011 a les parcel·les de Cabrera va ser elevada (82,45% en les parcel·les de 10 m, 88,38% en les de 20 m i 96,43% en les de 30 m), mentre que a la zona control la supervivència dels exemplars marcats inicialment va ser del 38,64% (Fig. 5).

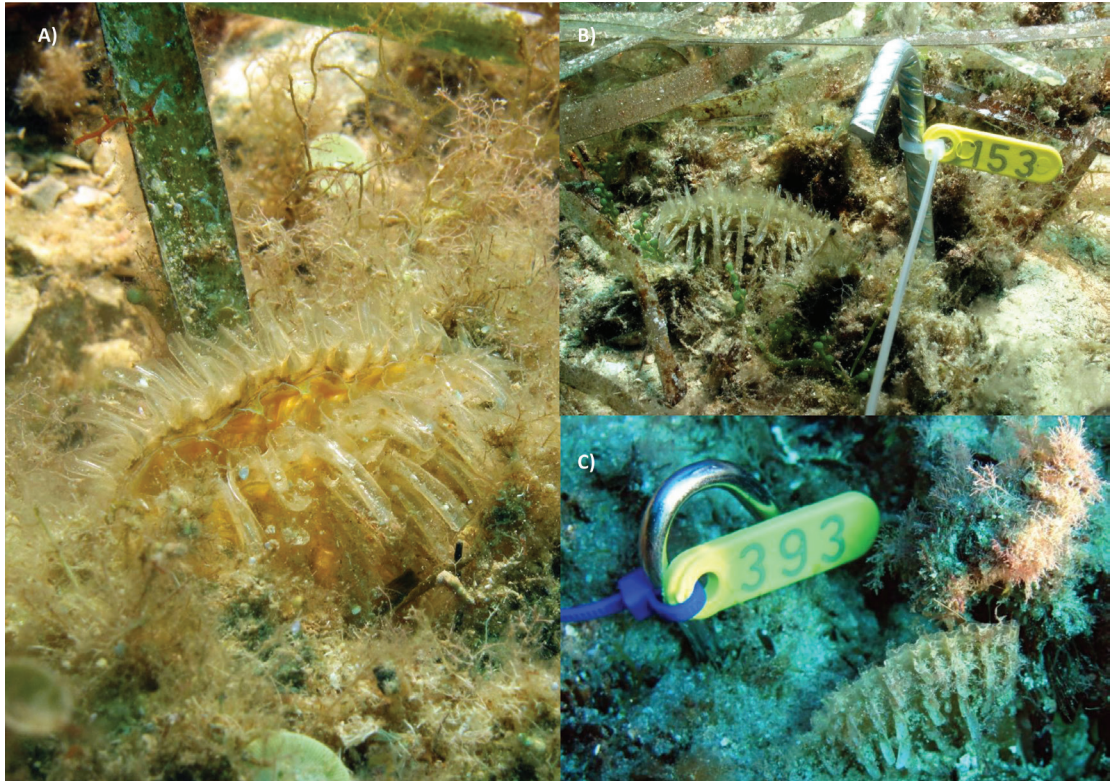


Figura 5. A) Exemplar juvenil de *P. nobilis* sobre mata de *P. oceanica*, B) juvenil a una parcel·la de demografia a Santa Maria; i C) Juvenil a una parcel·la de demografia a Sant Elm (Mallorca).

Els paràmetres demogràfics revelen diferències entre localitats, cotes batimètriques i anys. Pel que fa a la taxa de creixement net de la població, és positiva o tendeix a zero a les dues localitats i per a totes les profunditats estudiades, però la dinàmica de les poblacions del Parc, independentment de la profunditat, és diferent de la zona control de Sant Elm. Les taxes de mortalitat a Cabrera són similars a 10, 20 i 30 m de profunditat, mentre que a Sant Elm la taxa de mortalitat ha estat, de mitjana, més del doble que la de Cabrera a la mateixa fondària. La taxa de reclutament presenta resultats similars i els valors de Sant Elm són superiors als de Cabrera en més del doble, per a tot el període d'estudi (2011-2015). Les poblacions de Cabrera destaquen per l'estabilitat de les seves poblacions en totes les fondàries estudiades, mentre que la població de Sant Elm presenta un reclutament mitjà que supera el 70% del total dels exemplars censats en tot el període d'estudi, suposant una renovació molt important per a la població. A Cabrera aquests valors són molt més discrets, del 30,68% a la cota de 10 m, minvant a les cotes més profundes (23,74% a 20 m i 3,57% a 30 m).

També es valorà l'estructura de talles de la població de *P. nobilis* per localitat i cota de profunditat en les parcel·les permanents. Al Parc, els exemplars censats presentaven un ampli rang de talles (entre 3,3 i 27,5 cm d'amplada màxima), amb representants de totes les classes de talla. L'estructura de talles a Cabrera varia amb la fondària, de manera que a la cota més soma dominen els exemplars compresos entre els 15-20 cm d'amplada, mentre que a les cotes fondes dominen els exemplars de major talla, entre 20-25 cm, essent a la cota més profunda (30 m) on aquesta diferència és més acusada. Per contra, a la zona control de Sant Elm, els exemplars de la població situada a la cota soma de 10 m són de dimensions menors, amb un rang de talles compreses entre els 2,4 i els 16,9 cm d'amplada màxima de valva i dominada per individus de classe de talla més petita (10-15 cm) que en el cas de la població de Cabrera.

Reproducció

Al PN de Cabrera també s'han estudiat el desenvolupament gonadal i el cicle reproductiu de *Pinna nobilis* (Deudero *et al.*, 2017). El període de fresa pot ser un període de particular vulnerabilitat per a algunes espècies i, en concret, per a espècies hermafrodites i de vida llarga com la nacra. En poblacions de nacra del Parc de Cabrera es va analitzar mensualment, durant un cicle anual complet, la successió de les etapes de desenvolupament gonadal, la proporció de sexes i l'estat fisiològic dels animals, així com el paper del múscul adductor com a òrgan d'emmagatzematge d'energia de reserva, utilitzat en la maduració de les gònades. L'estudi revela, per als individus que viuen a 10 metres de profunditat, un sol període de fresa de tres mesos de durada. Aquest període comença al maig, amb temperatures de l'aigua al voltant dels 20°C, i arriba al seu màxim al juny-juliol. Els índexs de condició corporal dels exemplars adults disminueixen durant el període de fresa en mobilitzar-se recursos del múscul adductor cap a la gònada. Posteriorment es recuperen per assolir els valors previs a la fresa al novembre. Els resultats suggereixen que *Pinna nobilis* utilitza les reserves emmagatzemades en el múscul adductor per a la seva reproducció, com s'ha registrat en altres espècies de Pinnidae, de manera que la disminució de la força muscular podria significar una major vulnerabilitat durant el període post reproductiu (Deudero *et al.*, 2017).

Contaminants: metalls pesats i resposta fisiològica

L'augment de les pressions humanes a la costa és un factor en creixement que té efectes adversos sobre la biota i els hàbitats marins. Els organismes filtradors bentònics com la nacra són bons indicadors dels canvis en el medi marí i proporcionen informació sobre la resposta biòtica a les pressions antropogèniques. Atès que, com hem vist anteriorment, hi ha diversos factors ecològics de *P. nobilis* que difereixen de llocs prístins a llocs amb pressió antròpica, la nacra es pot emprar com a indicador primerenc per identificar possibles alteracions dels sistemes marins. Per això, es van estudiar diversos aspectes fisiològics de la nacra, tals com la concentració de metalls pesats, la resposta antioxidant, els marcadors de dany oxidatiu i producció d'espècies reactives d'oxigen en hemòcits de *Pinna nobilis* (Vázquez-Luis *et al.*, 2016, Sureda *et al.*, 2013, Natalotto *et al.*, 2015).

Les concentracions dels metalls pesats cadmi, coure, mercuri, plom i zinc (Cd, Cu, Hg, Pb i Zn) en els teixits blans de *P. nobilis* es van mesurar a Cabrera (Cala Santa Maria) i a dues localitats de Mallorca (Andratx i Magaluf) (Vázquez-Luis *et al.*, 2016). En termes generals, es van detectar elevades concentracions de metalls pesats en *P. nobilis*, cosa que indicaria una elevada bioacumulació, però gran variabilitat entre les diferents estacions. Els valors de Cd van ser molt superiors a Cala Santa Maria. Pel que fa al Cu, Hg i Pb les concentracions van ser més grans a Magaluf i a Cala Santa Maria que a Andratx. Finalment, els valors més elevats de Zn van presentar a Andratx.

En relació a l'anàlisi de marcadors de dany oxidatiu, els resultats van mostrar que els hemòcits de *P. nobilis* es veuen clarament afectats per les activitats antropogèniques. Els hemòcits responen a la pressió humana amb una resposta antioxidant capaç d'evitar el dany oxidatiu a lípids i proteïnes, de manera que tenen una certa capacitat d'adaptació davant de pressió antròpica. Els hemòcits dels llocs amb major pressió antròpica (Magaluf i Andratx) estan en un estat de preactivació per l'esclat oxidatiu com ho demostra la histoquímica i la immunohistoquímica (Sureda *et al.*, 2013, Natalotto *et al.*, 2015).

Algues invasores

Al PN de Cabrera, la població de *P. nobilis* està afectada per dues macroalgues invasores, l'alga vermella *Lophocladia lallemandii* i l'alga verda *Caulerpa cylindracea*, però es desconeixia l'abast d'aquesta colonització sobre el bivalve (Fig. 6). Els resultats dels estudis duts a terme varen mostrar que el 50% de la població de nacra està colonitzada per *Lophocladia*, mentre que *C. cylindracea* apareix de forma discreta sobre el bivalve (menys del 2%) (Vázquez-Luis *et al.*, 2014a). Així mateix, s'ha observat que la presència de *L. lallemandii* en termes de cobertura, biomassa i volum és major a 20 metres de fondària que a 10 metres. Aquestes variacions de cobertura es varen monitoritzar durant 18 mesos (2011-12) en dues localitats, a 10 i 20 m de profunditat (10 m: l'Olla i Cala Santa Maria, i 20 m: Rates i Cala Santa Maria). L'índex de cobertura va mostrar patrons similars en ambdues fondàries i llocs (Fig. 7), presentant els valors màxims al Juliol-12 a "Rates" a 20 metres de fondària i en "L'Olla" a 10 metres de fondària (2.13 ± 0.16 i 1.8 ± 0.18 respectivament). No obstant això, és important assenyalar que es va detectar un pic inesperat de cobertura de *L. lallemandii* al gener (2012) essent especialment pronunciat a l'Olla a 10 metres de fondària (1.43 ± 0.14), cosa que suggereix que les valves de *P. nobilis* podrien ser un hàbitat adequat per a aquesta espècie invasora quan la temperatura de l'aigua és menor.

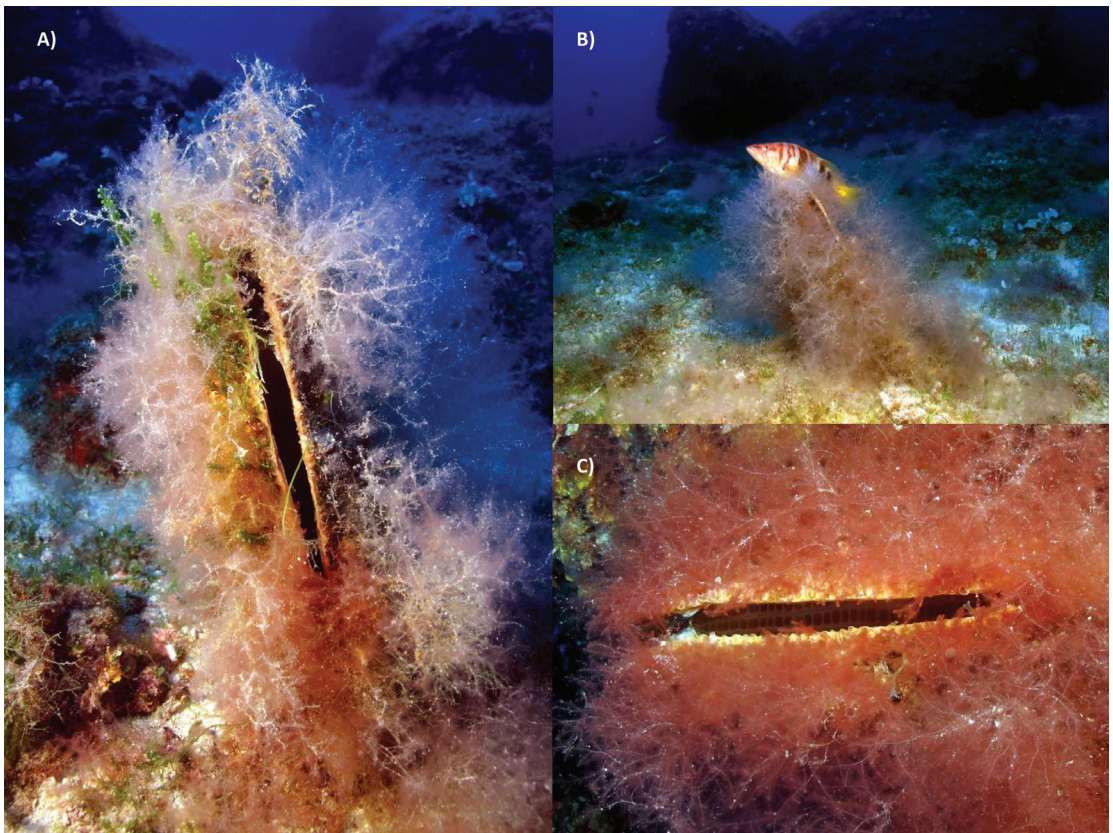


Figura 6. A) Exempler de *P. nobilis* colonitzat per les macroalgues invasores *Lophocladia lallemandii* i *Caulerpa cylindracea*; B) exempler de *P. nobilis* a 30 m de fondària en Morobutí; i C) juvenil de *P. nobilis* colonitzat per l'alga invasora *Lophocladia lallemandii*.

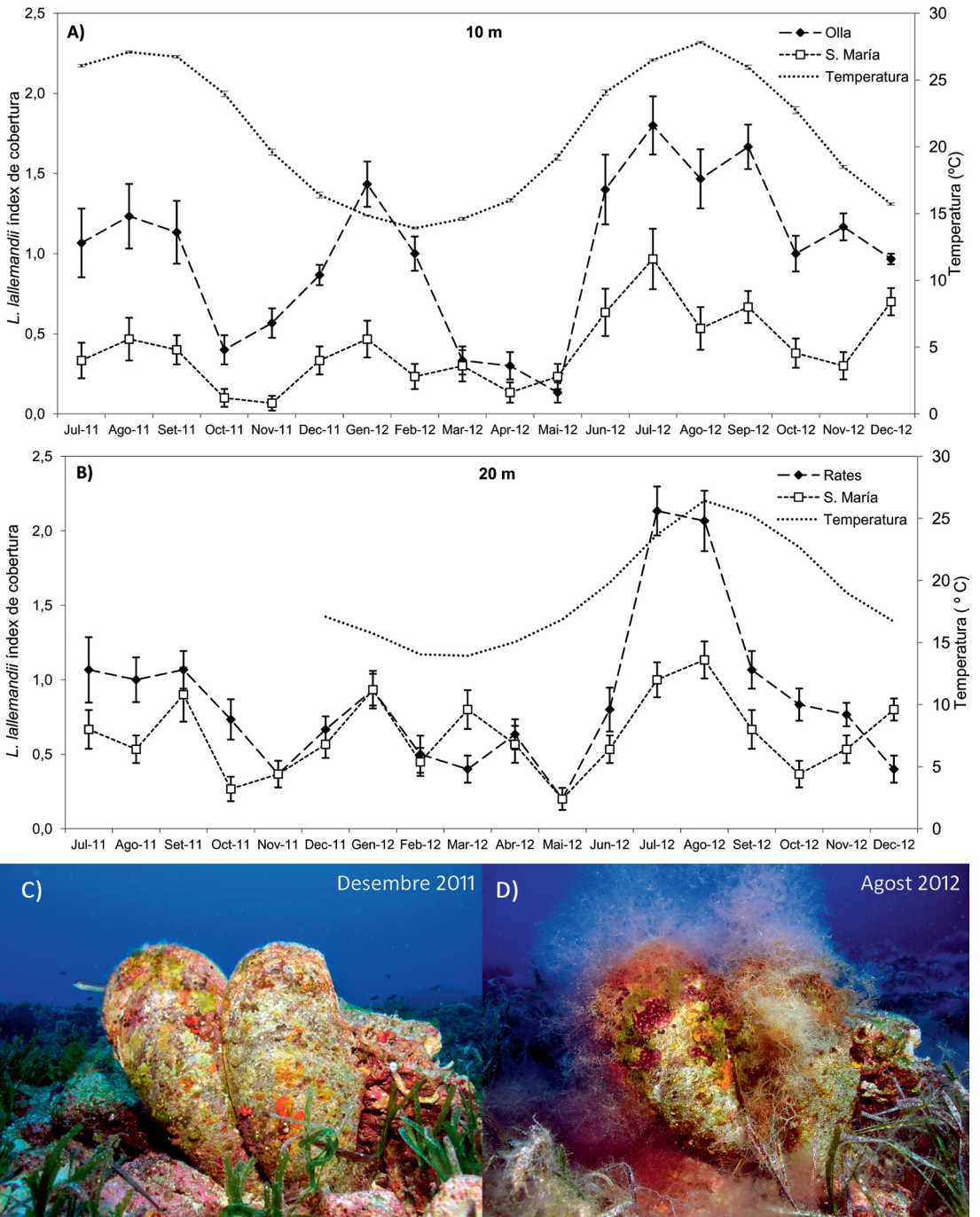


Figura 7. A) i B) Variació temporal de l'índex de cobertura de *L. lallemandii* sobre *P. nobilis* durant 18 mesos a 10 m i 20 m de profunditat en dos localitats. C) i D) Dos exemplars de *P. nobilis* al mes de desembre i agost respectivament.

Així mateix, entre abril i novembre de 2011, es van controlar mensualment els canvis en la distribució dels organismes epibionts sèssils a les valves de *P. nobilis*, i es va poder observar l'existència d'una gran variabilitat en nombre, cobertura i riquesa d'espècies de la comunitat epibiont a les closques de *P. nobilis*. També es va comprovar que, en augmentar la cobertura de *L. lallemandii*, l'índex de diversitat de la comunitat epibiont es redueix (Banach-Esteve *et al.*, 2015).

Pinna rudis

Densitat d'individus i distribució de talles de nacra de roca al PN de Cabrera

En termes generals, al Parc Nacional de Cabrera es trobaren densitats baixes de *P. rudis*, espècie que apareix distribuïda des dels 4 fins als 36 m de fondària (Vázquez-Luis i Deudero, 2014). En total s'han comptabilitzat 114 individus, dels quals el 22.8% eren morts. L'espècie és escassa a les aigües del Parc (Fig. 8), però presenta determinats punts d'alta densitat que es podrien considerar *hotspots* per a la nacra de roca. La densitat mitjana global d'exemplars de *P. rudis* a Cabrera és de 0.08 ± 0.24 ind/100 m², però aquestes densitats varien entre hàbitats (Fig. 8) (Nebot-Colomer *et al.*, 2016). Tot i que les coves representen només el 1.91% de l'àrea estudiada, la densitat mitjana de nacra de roca a les coves va ser de 1.69 ind/100 m², de manera que més del 65% de les nacres de roca censades a Cabrera es localitzaren en coves submarines. Concretament, el sífo situat a Foradada presenta les densitats més altes de *P. rudis* en tot el Parc amb 6.89 ind/100 m². Les densitats de la nacra de roca a praderies de *P. oceanica* són baixes (0.06 ind/100 m²), però destaca especialment la concentració de nacres detectades en un prat de *P. oceanica* que creix sobre substrat rocós a la zona des Freus a 10 m de profunditat, amb una densitat de 5.33 ind/100 m². En fons rocosos, fons detrítics costaners i fons arenosos, la densitat mitjana va ser, respectivament, de 0.03 ind/100 m², 0.02 ind/100 m² i 0.01 ind/100 m².

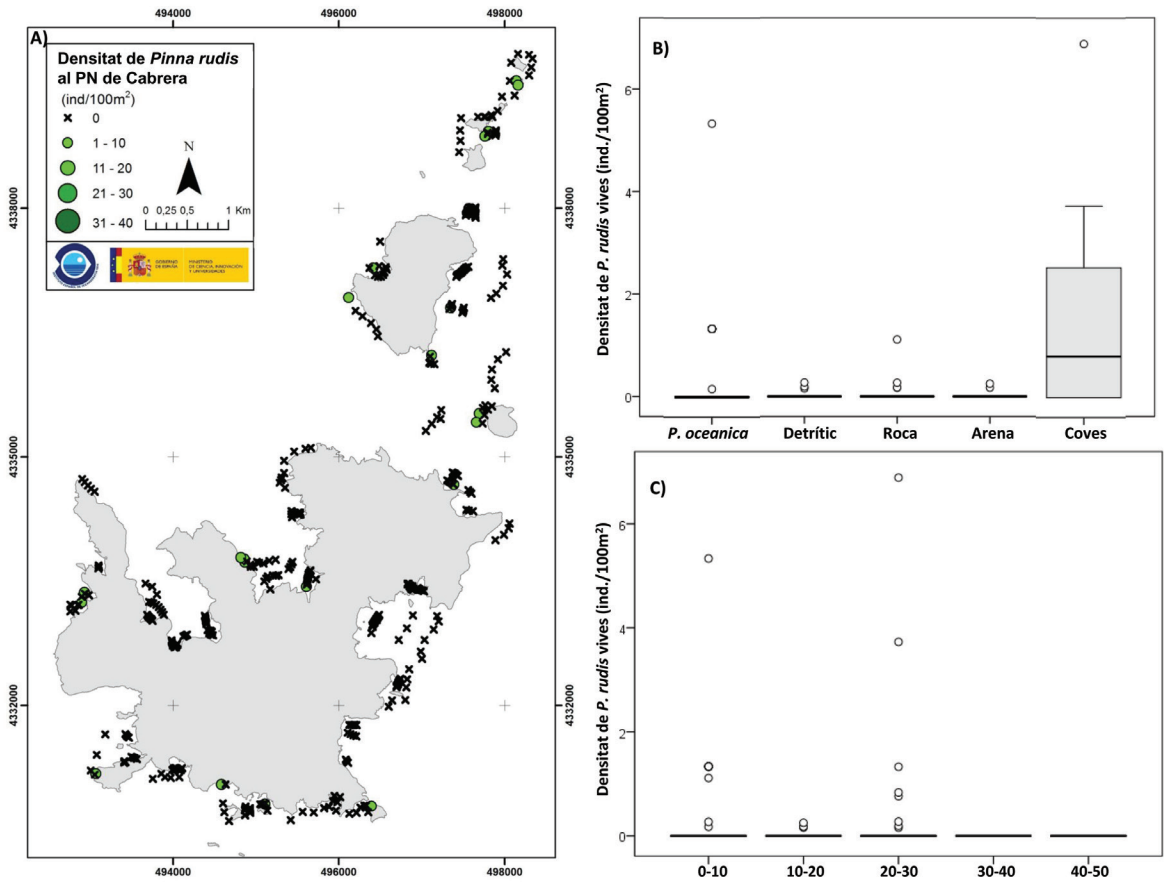


Figura 8. A) Distribució de la densitat de *P. rudis* (ind/100m²) al PN de Cabrera quantificada mitjançant censos visuals. B) Densitat de *P. rudis* (ind/100m²) al PN de Cabrera en els diferents hàbitats avaluats. C) Densitat de *P. rudis* (ind/100m²) al PN de Cabrera en les diferents cotes de profunditat avaluades. in the different surveyed habitats.

Pel que fa a la distribució de classes de talla de *P. rudis* al Parc, els exemplars censats presentaven un ampli rang de mida, amb una amplada màxima de valva d'entre 6.2 i 25 cm. L'estructura de la població va mostrar una distribució unimodal amb predominança d'individus d'entre 15 i 20 cm d'amplada (Nebot-Colomer *et al.* 2016). Paral·lelament, també es van estudiar les poblacions de *P. rudis* a les praderies de *Posidonia oceanica* de la resta d'illes de l'arxipèlag balear (Deudero *et al.*, 2015), on, com era d'esperar, la presència de *P. rudis* va ser ocasional i rara en general a totes les illes.

Edat i creixement

Pel que fa a l'edat i creixement de *Pinna rudis* a Cabrera, es va treballar amb 19 closques d'individus morts recollides durant els mostrejos de camp. El nombre màxim de registres interns comptats a les closques estudiades de *P. rudis* al Parc Nacional de Cabrera va ser de 28, en un exemplar recollit a la cova de n'Ensiola. Per contra, les closques més joves van tenir una edat d'entre un i tres anys. Els resultats semblen indicar que quan s'aplica el mètode de lectura del registre intern de la closca a la nacra de roca es produeix una pèrdua en el nombre de registres que som capaços de detectar, i podria ser que els individus tinguessin 3 anys més (així, l'individu de n'Ensiola que presentava 28 registres tindria 31 anys). Tot indica que la població de *P. rudis* està ben establerta al Parc amb gran varietat d'individus de diferents mides i edats. La majoria dels individus són adults madurs, d'entre 10 i 20 anys d'edat.

També es va estudiar la morfologia de la closca de la nacra de roca i es van identificar tres grups de morfologia diferent: grup de closca "recta i estreta", grup de closca "recta i ampla" i un tercer grup "amb formes no ben definides" (Nebot-Colomer, 2015). Al contrari del que passa amb *P. nobilis*, en la nacra de roca no s'han detectat diferències espacials en els diferents paràmetres relacionats amb el creixement de *P. rudis* (Nebot-Colomer *et al.*, 2016).

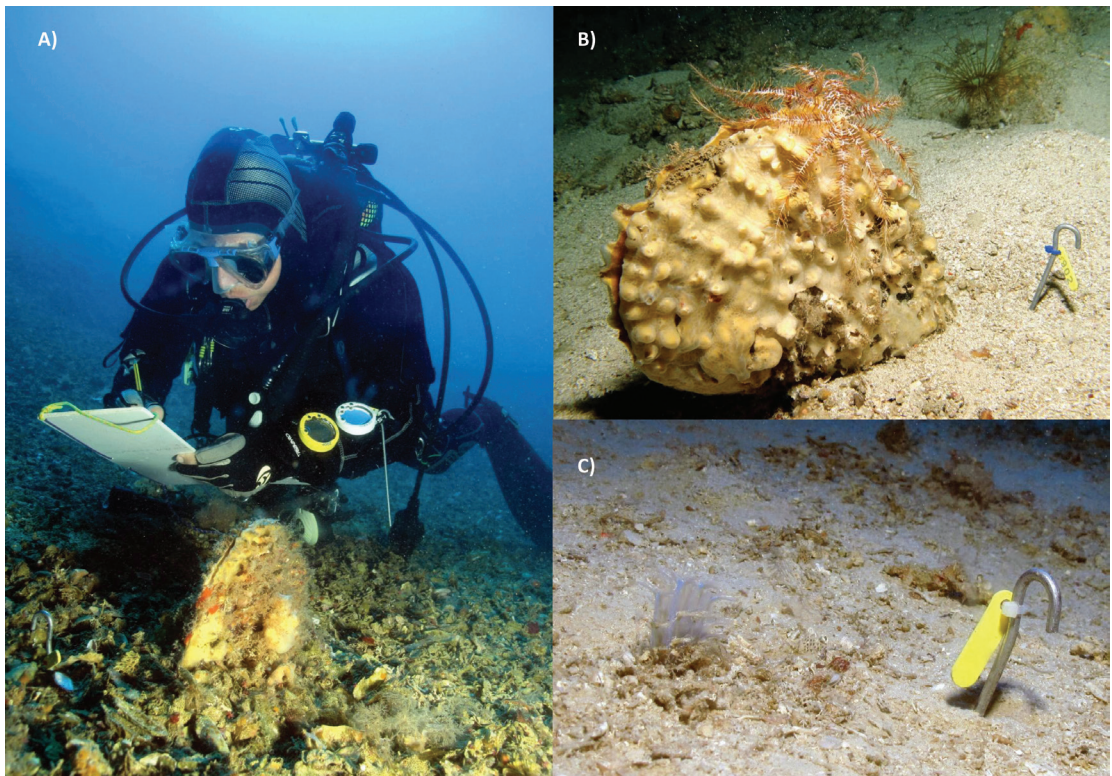


Figura 9. A) Bussejador prenent mesures d'un exemplar adult de *P. rudis* marcat a la cova d'Ensiola, on es fa el seguiment de demografia. B) Exemplar adult de *P. rudis* marcat amb una etiqueta numerada a la cova del Sifó de s'Illot de Na Foradada. C) Exemplar juvenil de *P. rudis* marcat amb una etiqueta numerada a la cova d'Ensiola.

Demografia de poblacions

Durant el seguiment de les poblacions de *P. rudis* al PN de Cabrera s'han mostrejat 5 coves o cavitats, en les que s'han marcat un total de 72 exemplars. S'ha dut a terme un seguiment irregular entre 2013 i 2018, període durant el qual s'han realitzat 4 visites (2013, 2014, 2017 i 2018). Les coves estan situades en un rang de profunditat que varia entre els 22 i 36 m (Fig. 9 i Fig. 10). La supervivència dels individus marcats ha estat elevada en quatre de les cinc coves visitades, amb una supervivència superior al 70% dels individus marcats inicialment en 2013. S'han obtingut estimes demogràfiques de les poblacions de 3 de les coves estudiades. En totes elles la taxa de creixement net de la població és positiva, el nombre total d'exemplars ha augmentat durant el període d'estudi. No obstant això, són poblacions que destaquen pel seu elevat dinamisme, amb taxes de reclutament elevades i on el reclutament ha suposat en aquest període una renovació de la població que supera el 40% del total dels exemplars censats.

Algues invasores

Es va estudiar la colonització per macroalgues invasores a la nacra de roca (Fig. 10). Els resultats van ser baixos, i tan sols el 16% de *P. rudis* estan colonitzades per *Lophocladia lallemandii* i el 5.7% per *Caulerpa cylindracea*. La colonització de les valves de la nacra de roca va variar depenent de l'hàbitat estudiat, presentant el valor més baixos de colonització les coves submarines, presumiblement a causa de la manca de llum (Nebot-Colomer, 2015).

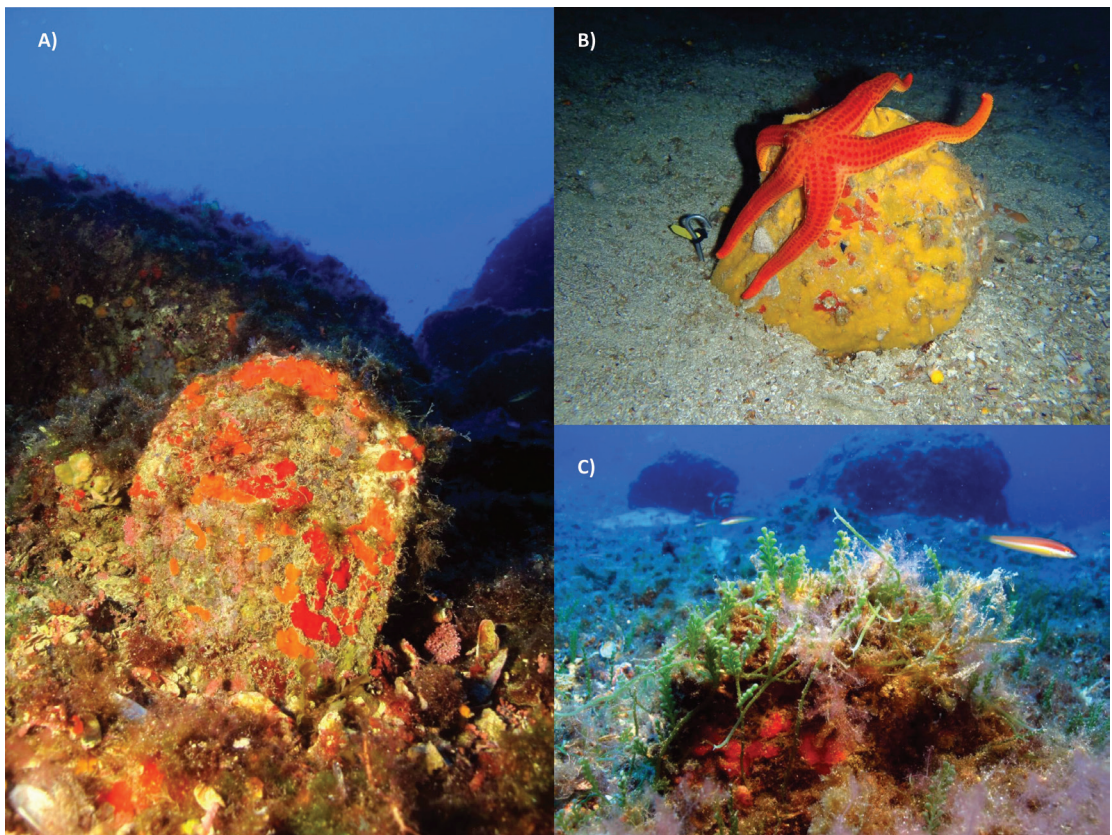


Figura 10. A) Exemplar adult de *P. rudis* sobre fons detrític a la cova del Sifó. B) Exemplar adult de *P. rudis* sobre fons detrític al Sifó de s' Illot de Na Foradada. C) Exemplar de *P. rudis* epifitat per les macroalgues invasores *Lophocladia lallemandii* i *Caulerpa cylindracea* a 36 m de fondària.

ESDEVENIMENT DE MORTALITAT MASSIVA DE *P. nobilis* 2016

Malauradament, ara aquesta situació ha canviat dràsticament. Des de la tardor de 2016 les poblacions de nacra han experimentat una mortalitat massiva sense precedents que n'està fent desaparèixer les poblacions a tot el territori nacional i el PN de Cabrera no n'ha estat una excepció (Fig. 11). El causant d'aquesta mortalitat és una espècie nova de protozou paràsit, *Haplosporidium pinnae*, que parasita el teixit connectiu i la glàndula digestiva de la nacra provocant una elevada resposta inflamatòria i una disfunció orgànica greu (Catanese *et al.*, 2018). L'animal no es pot alimentar correctament, s'aprima i debilita fins que mor. Aquest protozou es caracteritza per presentar espores resistents que forma a l'interior de la nacra i que expulsa a la columna d'aigua. Els efectes de la infecció sobre les poblacions de *P. nobilis* són molt letals, amb taxes de mortalitat del 100% a quasi tot el territori espanyol (Vázquez-Luis *et al.*, 2017a). En el marc d'aquest esdeveniment de mortalitat massiva, el PN de Cabrera és una de les localitats que juga un paper principal en l'intent de conservar l'espècie. En primer lloc i tal com s'ha explicat abans, és un àrea climàtica per a l'espècie molt ben estudiada i de la que es tenia un coneixement detallat de les poblacions de nacra; en segon lloc, és una de les poques zones on s'han detectat supervivents a l'onada de mortalitat; i, finalment, al PN s'ha dut a terme la primera translocació d'individus resistents en la història.

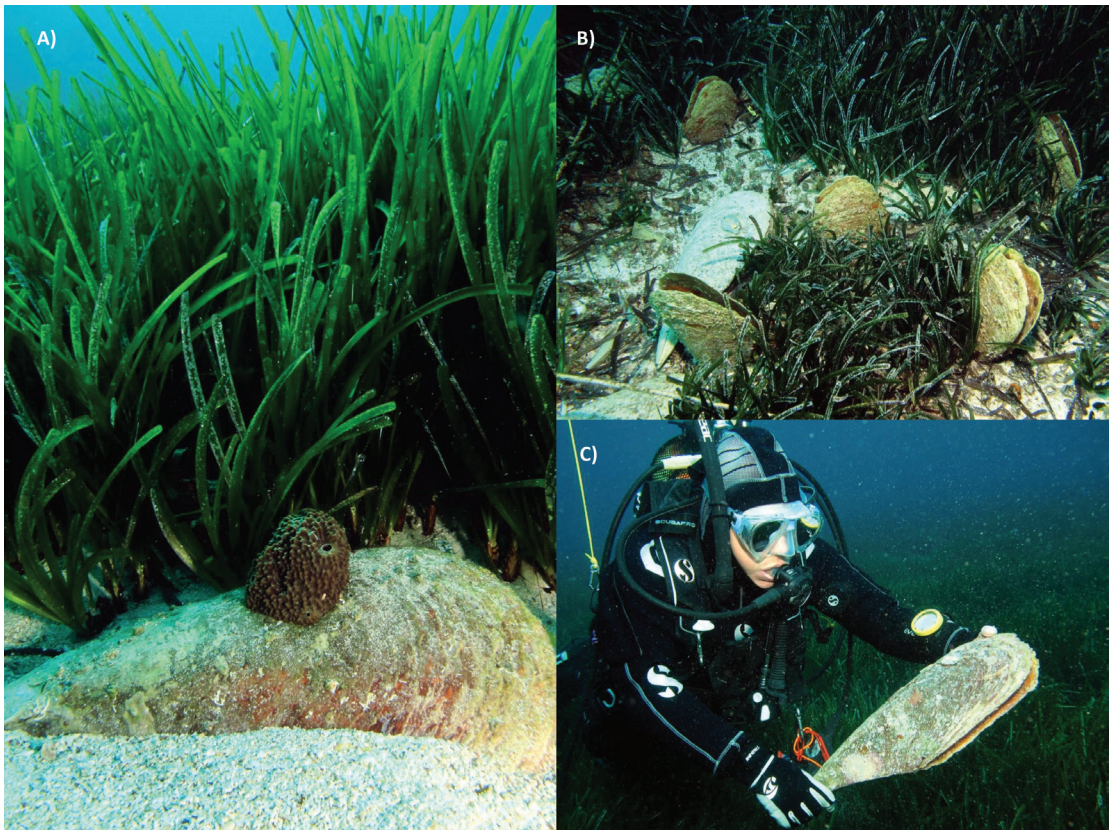


Figura 11. A) Amb el pas del temps la major part de les closques de les nacres mortes queden rompudes, enterrades i passen a formar part del sediment. B) Exemples adults de *P. nobilis* morts i encara dempeus en una de les parcel·les de demografia de Santa Maria a 10 m. C) Bussejador recollint un dels exemplars de *P. nobilis* morts i marcats amb massilla del que es feia seguiment des de 2011 a les parcel·les de demografia de Santa Maria a 10 m.

Després de la detecció, en 2016, de l'esdeveniment de mortalitat massiva que estava patint *P. nobilis*, s'han dut a terme diverses campanyes i nombroses sortides al mar al Parc Nacional de Cabrera per avaluar l'estat de les poblacions, realitzar accions de conservació i monitoritzar l'evolució de les nacres que encara resten vives. A Cabrera és al novembre (2016) quan es detecten per primera

vegada els efectes de la malaltia, amb una mortalitat del 87% de les nacres a la localitat de Rates, a 20 m de profunditat. Posteriorment, al desembre (2016), l'esdeveniment va ser confirmat pel personal del Parc a les zones del Port i de Cala Santa Maria amb l'observació d'un gran nombre d'exemplars morts. El març de 2017 es censaren les nacres de dues localitats amb densitat de nacres coneguda, Cala Santa Maria, a 10 i 20 m de profunditat, i Rates, a 20 m, per determinar l'abast de l'esdeveniment. Els resultats van ser aterridors ja que les mortalitats van ser del 86.3%, 97.9% i 94.4% respectivament. A més, els pocs individus vius que es van detectar durant les immersions presentaven símptomes inequívocs de malaltia: tancament lent de les valves, pèrdua de força a la pressió i recessió del mantell. Es va recollir un d'aquests individus malats per comparar-lo amb altres exemplars que s'estaven recollint a localitats fora del Parc i dur a terme anàltiques conèixer l'agent causant de la malaltia. El maig de 2017 es va fer la revisió de les parcel·les de demografia instal·lades a l'interior del parc, confirmant-se una vegada més les elevades mortalitats al Parc, amb una mortalitat del 100% de les nacres marcades des de 2011, i on tampoc es va localitzar cap individu juvenil. Durant aquesta darrera campanya es va trobar un exemplar molt malalt a la localitat de Morabatí, que es va recollir per a la seva anàlisi. Tots dos, aquest darrer i el recollit el mes de març, varen donar positiu, tant per l'anàlisi histològica com la molecular a la presència del paràsit *Haplosporidium pinnæ* (Catanese *et al.*, 2018).

Durant l'estiu de 2017, quan tots els esforços dels equips de investigació i voluntaris (ciència ciutadana) de Balears, es centraven en la recerca de supervivents, al PN de Cabrera es localitzaren 3 exemplars de nacra vius. Un d'ells per un pescador a 24 m, prop de l'illa de Rodona, i els altres dos per un bussejador voluntari, a la zona des Castell, però que presentaven símptomes evidents de malaltia. Malauradament, només un d'aquests 3 exemplars ha resultat resistent a la malaltia, mentre que els altres dos al novembre (2017) ja s'havien mort. L'exemplar supervivent ha superat la malaltia i a hores d'ara (2018) es troba en bones condicions (Fig. 12).



Figura 12. A) Exemplar de *P. nobilis* supervivent amb una gàbia d'exclusió de depredadors per afavorir-ne la supervivència. B) Un dels tres exemplars de *P. nobilis* supervivents de 2017, però que va morir a finals d'any. C) Bussejador col·locant una pròtesi abans de la replantació a una de les dues nacres supervivents de Mallorca traslladades a Cabrera.

Pel llarg historial d'estudi de la nacra i pel bon estat de conservació general, es considera que el PN de Cabrera és un dels llocs clau per dur a terme accions encaminades a una futura recuperació de l'espècie. Per això, el Servei de Protecció d'Espècies del Govern de les Illes Balears i el Parc Nacional de Cabrera varen decidir ubicar a la zona de màxima protecció da Cala Santa Maria tots els exemplars supervivents coneguts a Mallorca que estiguessin en zones de risc no òptimes per a la seva supervivència (3 a principis de 2018), per tal d'afavorir la supervivència dels exemplars i la reproducció de l'espècie. D'aquest trasllat s'ha fet càrrec el Centre Oceanogràfic de Balears (IEO) amb el suport del propi Parc Nacional i de la Direcció General de Pesca i Medi Marí, i pel juny de 2018 ja s'havien reubicat dues de les tres supervivents conegudes. Així mateix, per minimitzar la mortalitat per depredació se'ls ha protegit amb gàbies d'exclusió de depredadors. A hores d'ara podem dir que al PN de Cabrera els efectes de l'episodi de mortalitat massiva han estat devastadors, ha mort més del 99% de la població, però accions com les que s'estan portant a terme ens donen un bri d'esperança.

Pel que fa a la nacra de roca, no s'ha detectat mortalitat anòmala ni al Parc Nacional de Cabrera ni a les altres zones estudiades. És més, cap exemplar manifestava símptomes de malaltia i s'han observat alguns reclutes en les revisions demogràfiques realitzades en 2017 i 2018. Fins i tot, dos exemplars de *P. rudis* de Cabrera varen ser analitzats per histologia i eines moleculars, amb resultat d'absència d'*Haplosporidium pinnae* a la nacra de roca (Catanese *et al.*, 2018).

DISCUSSIÓ

Al Parc Nacional de Cabrera, *Pinna nobilis* és un exemple del que la protecció pot fer per a la recuperació d'una espècie. Les densitats de nacres quantificades a Cabrera eren de les més elevades de la Mediterrània, amb màxims de 37,33 ind./100 m² (Vázquez-Luis *et al.*, 2014a; Basso *et al.*, 2015), essent també molt superiors a les d'altres zones de la resta de les Illes Balears (Deudero *et al.*, 2015). De fet, en la localitat de Cabrera on es mesuraren les màximes densitats, l'any 2000 Coll i col·laboradors, 9 anys després de la declaració del Parc, havien censat 3,3 ind./100 m². A la mateixa zona, després de 20 anys de la declaració del Parc, la densitat de nacres s'havia multiplicat per 11 (37 ind./100 m²). Aquesta dada és indicativa de la importància que ha tingut la figura de protecció de Parc Nacional en el manteniment de les poblacions de nacres de Cabrera, que possiblement actuaven com a reservori de pool larvari i genètic per a poblacions ubicades fora del Parc. Les dades a Cabrera apunten a que les densitats eren màximes en zones de praderia de posidònia, destacant individus de gran talla en profunditat, i que les majors taxes de reclutament es produïen a cotes someres. L'anàlisi de l'estructura de talles indica que es tractava de una població madura i estructurada amb un elevat percentatge d'individus reproductors. Per tant, el cas de la nacra demostra que la protecció de zones amb l'exclusió d'activitats humanes (fondeig, pesca, abocaments, entre d'altres) serveix per al manteniment i la recuperació de poblacions d'espècies vulnerables. No obstant això, la recent mortalitat massiva de *P. nobilis* ha posat de manifest una amenaça inesperada, un patògen, d'efectes devastadors, que ha provocat la re-catalogació de la nacra, de *Vulnerable* a en *Perill d'Extinció* i en *Situació Crítica* a nivell nacional, per l'Administració de l'Estat (Orden TEC/1078/2018); y ha estat recentment inclosa en la llista vermella de la UICN com a "Critically Endangered" (Kersting *et al.* 2019).

Pel que fa al seguiment demogràfic, es precisa una presa de dades a llarg termini per obtenir una correcta informació sobre l'evolució de les poblacions (reclutament i mortalitat). L'esdeveniment de mortalitat massiva ha trencat la nostra sèrie de dades i només disposem de la informació del període 2011-2015, tot i que ja es poden observar tendències. Les taxes de mortalitat observades a Cabrera eren baixes quan es comparen amb les d'altres estudis similars, com el de García-March *et al.* (2007), que estudiaren una població a dues cotes de profunditat (6 i 13 m) i on la taxa de mortalitat era més alta a la cota somera. L'estudi de les poblacions de nacra a Cabrera mostra una població madura i estructurada, que molt possiblement havia arribat a l'equilibri, però que durant els 20 anys de protecció probablement havia passat per un període de creixement net positiu, amb altes taxes de reclutament, des de una situació inicial, en els anys 90, en que l'espècie estava present però no era abundant (Ballesteros *et al.*, 1993) amb un increment progressiu de la densitat entre 2000 (9 anys de protecció) y 2011 (20 anys de protecció). Tot això fa pensar en l'existència de mecanismes de densodependència i autoregulació de les poblacions.

Les estimes d'abundància i, més important encara, les tendències d'aquestes estimes, són un requisit previ per a l'avaluació de l'estat de les espècies i per a la proposta de mesures immediates que garanteixin la viabilitat de les poblacions locals (Katsanevakis i Thessalou-Legaki 2009). Després de més de 20 anys de protecció efectiva i d'exclusió d'impactes antròpics al Parc Nacional de Cabrera, el projecte PINNA va ser el primer i únic estudi que es va realitzar sobre l'evolució de les poblacions de *P. nobilis* al Parc i que en va proporcionar mapes de distribució espacial. Actualment, aquesta informació és de gran rellevància perquè, després de la mortalitat massiva, a moltes de les estacions on s'avaluà la població de nacres ja no queda cap vestigi (ni les closques) de la seva presència anterior i, per tant, no és possible inferir on habitava aquesta espècie.

El coneixement de les àrees on hi havia les millors poblacions de nacra és una informació indispensable per poder afrontar en un futur possibles tasques de repoblació. En aquest sentit, el Parc Nacional de Cabrera és, sens dubte, una de les millors àrees on dur a terme programes de reubicació i/o reintroducció d'exemplars, tant per a l'àmbit balear com a per a l'espanyol. D'altra banda, la recerca i localització d'exemplars resistents a la malaltia és fonamental perquè l'espècie pugui superar aquesta crisi. Potser per a Cabrera, amb només 3 exemplars vius, la recuperació de les poblacions de nacra no sigui possible a mitjan termini i s'hagi d'afrontar l'extinció de l'espècie al Parc i, de moment, la prioritat és mantenir vius els exemplars resistents i dur a terme accions per incrementar-ne les possibilitats de supervivència. Així, és bàsic protegir qualsevol exemplar de nacra que aparegui en el medi i, en aquest sentit, les experiències amb juvenils desenvolupades en el marc del projecte PINNA són molt útils perquè demostraren que l'esperança de vida dels reclutes és major quan es mantenen en bosses de xarxa individuals a la columna d'aigua en un medi oligotròfic com Cabrera (Alomar *et al.*, 2015). La supervivència amb aquest mètode és molt més gran que si els juvenils són reimplantats en el fons marí sense protecció, augmentant la mortalitat en fondària, ja que la praderia a 20 m ofereix manco protecció que a 10 m (Morató, 2013).

Respecte de *Pinna rudis*, els estudis en marxa proporcionen informació valuosa sobre la seva biologia i ecologia. La nacra de roca no s'ha vist afectada per l'esdeveniment de mortalitat massiva, i per tant les dades generades als estudis, en particular el seguiment demogràfic de les parcel·les permanents, permetran realitzar una gestió i seguiment efectiu de les poblacions d'aquesta espècie protegida al Parc. És important reiterar que els seguiments a llarg termini han demostrat ser de gran utilitat per avaluar l'evolució de les poblacions, sobretot en el cas d'espècies sèssils (Marbà *et al.*, 2005). Pel que fa a les densitats de la nacra de roca, els resultats d'aquest estudi són comparables amb els estudis previs realitzats en altres àrees marines protegides (0,25 ind./100 m², a Scandola (Còrsega) i 0,30 ind./100 m² a Columbrets (Trigos *et al.*, 2013). Al Parc Nacional de Cabrera les densitats de *P. rudis* en tots els hàbitats són baixes, presentant-se les més altes a les coves, hàbitat que representa només l'1,91% de la superfície total explorada. Concretament, la localitat de tot el Parc Nacional amb major densitat de nacra de roca va ser el Sifó de s'illot de Na Foradada (6.89 ind./100 m²), una cova tubular en forma d'embut, d'entre 26 i 34.5 m de fondària, amb fons de detrític costaner. Aquesta és la densitat més alta registrada a tot el món, la qual cosa indica que es tracta d'una localitat òptima per a l'acumulació preferent i assentament de larves de nacra de roca. La densitat de individus en els prats de *Posidonia oceanica* va ser, en general, molt baixa però es va localitzar una població de 5,3 ind./100 m² a Es Freus, a 10 m de profunditat, possiblement perquè la praderia creixia sobre substrat rocós. Pel que fa a l'edat i el creixement de *P. rudis*, la població que habita el Parc està ben establerta, amb una gran varietat d'individus de diferents mides i edats, tenint la majoria dels individus entre 10 i 20 anys.

Com a recomanacions finals, es important remarcar la importància de dur a terme mesures de gestió enfocades a recuperar la nacra (*Pinna nobilis*) al Parc Nacional de Cabrera. Pel que fa a la nacra de roca, *Pinna rudis*, hauria de ser una prioritat establir un programa de seguiment, en particular a les àrees de major densitat, per obtenir sèries de dades demogràfiques de *Pinna rudis* a llarg termini. També és molt recomanable, per a la conservació i gestió d'aquesta espècie, l'establiment d'àrees de reserva integral en els llocs de major densitat.

Així mateix, els coneixements obtinguts sobre les dues espècies de nacra són d'elevat interès per a la conservació d'altres espècies sèssils vulnerables. No podem oblidar que l'estat de conservació

de la diversitat biològica és un 11 descriptors específics inclosos en els futurs programes europeus d'Estratègia Marina (MSFD 2008/56/EC), dirigits a aconseguir el Bon Estat Ambiental (BEA) en 2020. Els impactes antròpics a les àrees costaneres estan en augment, amb efectes acumulatius. El coneixement de la biologia i ecologia de les espècies en perill i dels ecosistemes als que estan vinculades és essencial per prendre mesures de gestió adequades, tant del Parc Nacional de Cabrera com, potencialment, del conjunt del litoral mediterrani.

AGRAÏMENTS

El present treball s'ha finançat gràcies a la concessió del projecte 024/2010 del programa Investigació en la Red de Parques Nacionales (Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Ministeri de Medi Ambient, Medi Rural i Marí). Agraïm a les autoritats gestores del PNMTAC, així com a l'equip de guardes i vigilants, la seva col·laboració en diverses etapes durant el desenvolupament del projecte. També agraïm a Jaume Ferrer el suport logístic al llarg del projecte. MV està contractada amb un contracte postdoctoral cofinançat pel Govern de les Illes Balears i el Fons Social Europeu 2014-2020, i per un contracte postdoctoral Juan de la Cierva-Incorporación (IJCI-2016-29329) del Ministeri de Ciència, Innovació i Universitats. EA també compta amb el suport d'un contracte de Personal Tècnic de Suport (PTA2015-10829-I) finançat pel Ministeri d'Economia i Competitivitat. Estem molt agraïdes per la gran col·laboració de col·legues i voluntaris que han participat des de diverses institucions: Alejandro Bernal, Amalia Grau, Antoni M. Grau, Ariadna Tor, Carlos García, Carlos Morell, Carlos Valle, Carmen Alomar, Cristina Gonzalez, Dani Ottmann, Darren Hanlon, David Díaz, Diana López, Elisabet Nebot, Fernando Estarellas, Florencia Bibbo, Fran Fuster, Gaetano Catanese, Gàlia Banach Esteve, Guillem Mateu, Irina Sánchez, Iris Hendriks, J.A. Campillo, Judit Jiménez, Juan Ignacio Movilla, Jose Rafael Garcia-March, Joseph A. Borg, Kika Magraner, Laura Lozano, Lorena Basso, Marga Cerdá, Mario Minguito, Mercè Morató, Micaela García, Miguel Cervantes, Miquel Cabanellas, Montse Arenós, Nino Nataloto, Pablo Arechavala, Patrick Schembri, Pedro Collado, Piluca Sarriera, Raquel Goñi, Toni Frau, Toni Sureda, Txema Brotons, voluntaris FEDAS (José Cordon, Andrés Arenas, Luis Martínez i Joan Calvo) i Xisco Ordinas. A més, és impossible esmentar aquí a totes les persones que, d'una manera o d'una altra, estan participant enviant informació, en els treballs de seguiment, de rescat i de conservació d'individus,... Per això volem agrair a totes les persones i institucions la seva tasca i col·laboració en aquests moments tan difícils per a *Pinna nobilis*.

REFERÈNCIES

- Alomar, C., Vázquez-Luis, M., Magraner, K., Lozano L. i Deudero, S., 2015. Evaluating stable isotopic signals at bivalve *Pinna nobilis* under different human pressures. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 467: 77-86 <http://doi:10.1016/j.jembe.2015.03.006>
- Arenós, M., 2013. *Influence of environmental factors on morphometric differences on Pinna nobilis shells deciphered by biometric analyses*. Master's thesis supervised by: S. Deudero, M. Vázquez-Luis and J.R. García-March. Master in Marine Ecology, UIB. Inèdita
- Ballesteros, E., Zabala, M., Uriz, M.J., García-Rubies, A. i Turon, X., 1993. El bentos: les comunitats (687-730 pp) In: Història natural de l' Arxipèlag de Cabrera. Fornós, J.J., Ballesteros, E. i Alcover, J.A.(eds.). *Monografies de la Societat d'Història Natural de Balears*, Palma, ISBN: 978-84-273-0703-2, 778 pp
- Banach-Esteve, G., Vázquez-Luis, M. i Deudero, S., 2015. Temporal trends in sessile epibionts of the endemic bivalve *Pinna nobilis*: variability in *Lophocladia lallemandii* colonization. *Thalassas*, 31(2): 19-29
- Barea, J.M., Ballesteros, E. i Moreno, D., 2008. *Libro Rojo de los Invertebrados de Andalucía*. 4 Toms. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, 1430 pp
- Basso, L., Vázquez-Luis, M., García-March, J.R., Deudero, S., Álvarez, E., Vicente, N., Duarte, C.M. i Hendriks, I.E., 2015. The Pen Shell, *Pinna nobilis*: A Review of Population Status and Recommended Research Priorities in the Mediterranean Sea. *Adv. Mar. Biol.*, 71: 109-160. <https://doi.org/10.1016/bs.amb.2015.06.002>
- Berard, G., 1789. Viaje a las Villas de Mallorca. Luis Ripoll editor. Ed. del Ajuntament de Palma, 1983.
- Catanese, G., Grau, A., Valencia, J.M., García-March, J.M., Vázquez-Luis, M., Álvarez, E., Deudero, S., Darriba, S., Carballal, M.J. i Villalba, A., 2018. *Haplosporidium pinnae* sp.nov., a haplosporidan parasite associated with massive mortalities of the fan mussel, *Pinna nobilis*, in the Western Mediterranean Sea. *J. Invertebr. Pathol.*, 157: 9-24.
- Coll J., Alvarez E., Abad R. i Font A., 2000. Evaluación y control ambiental de algunos indicadores del estado de conservación del medio bentónico en aguas del Parque Nacional Marítimo-Terrestre del Archipiélago de Cabrera.

- Informe tècnic. Pandion 31 pp.
- Deudero, S., Vázquez-Luis, M. i Álvarez, E., 2015. Human stressors are driving coastal benthic long-lived sessile *Pinna nobilis* population structure more than environmental stressors. *PlosONE* 10(7): e0134530. doi:10.1371/journal.pone.0134530, 1-14
- Deudero, S., Grau, A., Vázquez-Luis, M., Álvarez, E., Alomar, C. i Hendriks, I. E., 2017. Reproductive investment of the pen shell *Pinna nobilis* Linnaeus, 1758 in Cabrera National Park (Spain). *Mediterranean Marine Science*. 18/2: 271-284. <http://dx.doi.org/10.12681/mms.1645>
- García-March, J.R. 2003. Contribution to the knowledge of the status of *Pinna nobilis* (L.) 1758 in Spanish coasts. Tesi Doctoral. *Mem. Inst. Oc. Paul Ricard*: 29-41. Inèdita
- García-March, J.R. i Kersting, D.K., 2006. Preliminary Data on the Distribution and Density of *Pinna nobilis* and *Pinna rudis* in the Columbretes Islands Marine Reserve (Western Mediterranean, Spain). In: *Internacional Congress on Bivalvia, 22-27 July 2006. Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, Catalunya, Spain*
- García-March, J.R., García-Carrascosa, A.M., Cantero, A.L.P. i Wang, Y.G., 2007. Population structure, mortality and growth of *Pinna nobilis* Linnaeus, 1758 (Mollusca, Bivalvia) at different depths in Moraira bay (Alicante, Western Mediterranean). *Marine Biology*, 150: 861-871.
- García-March J.R., Hernandis S., Vázquez-Luis M., Prado P., Deudero S., Vicente N, Tena-Medialdea J. (2020). Age and growth of endangered fan mussel *Pinna nobilis* in the western Mediterranean Sea. *Marine Environmental Research*, 153: 104795
- Giacobbe, S. i Leonardi, M., 1987. *Les fonds à Pinna du Détroit de Messine*. Doc. Et Trav. IGAL, 11, 253-254.
- Katsanevakis, S., 2007. Growth and mortality rates of the fan mussel *Pinna nobilis* in Lake Vouliagmeni (Korinthiakos Gulf, Greece): a generalized additive modelling approach. *Marine Biology* 152: 1319-1331.
- Katsanevakis, S. i Thessalou-Legaki, M. 2009. Spatial distribution, abundance and habitat use of the protected fan mussel *Pinna nobilis* in Souda Bay, Crete. *Aquatic Biology*, 8: 45-54.
- Kersting D, Benabdi M, Čížmek H, Grau A, Jimenez C, Katsanevakis S, Ozturk B., Tuncer S, Tunesi L, Vázquez-Luis M, Vicente N, Otero Villanueva M. 2019 *Pinna nobilis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-3.RLTS.T160075998A160081499.en>
- Lozano L., 2013. *Influence des facteurs environnementaux sur les paramètres biologiques et morphologiques du bivalve endémique de la Méditerranée Pinna nobilis*. Final degree project supervised by: S. Deudero and M. Vázquez-Luis. Master 1 mention «Géosciences Marines et Environnements Aquatiques». Université de Perpignan, France. Inèdita
- Marbà, N., Duarte, C.M., Cebrian, J., Gallegos, M.E., Olesen, B. i Sandjensen, K., 1996. Growth and population dynamics of *Posidonia oceanica* on the Spanish Mediterranean coast: Elucidating seagrass decline. *Marine Ecology-Progress Series* 137: 203-213.
- Marbà, N., Duarte, C.M., Díaz-Almela, E., Terrados, J., Álvarez, E., Martínez, R., Santiago, R., Gacia, E. i Grau, A.M., 2005. Direct Evidence of Imbalanced Seagrass (*Posidonia oceanica*) Shoot Population Dynamics in the Spanish Mediterranean. *Estuaries* 28: 53-62.
- Martínez, A., Trigos, S., García-March, J.R., Vicente, N. i Torres, J., 2014. Comparative study of growth of the endangered bivalve *Pinna nobilis* in marine protected areas vs. unprotected areas of the western Mediterranean Sea. *XVIII Simposio Ibérico de Estudios de Biología Marina, 2-5 setembre 2014. SIEBM, Gijón, Spain*
- Morató, M., 2013. Avaluació de la contaminació per metalls pesats al bivalve *Pinna nobilis* i experiència de sembra de juvenils com a proposta de gestió activa. Tesi de màster supervisada per S. Deudero i M. Vázquez-Luis. *Màster Universitari d'Anàlisi, Planificació i Gestió d'Àrees Litorals*, UIB. Inèdita
- Natalotto, A., Sureda, A., Maisano, M., Spanò, N., Mauceri, A. i Deudero, S., 2015. Biomarkers of environmental stress in gills of *Pinna nobilis* (Linnaeus 1758) from Balearic Island. *Ecotoxicology and Environmental safety*, 122: 9-16.
- Nebot-Colomer, E. 2015. *First evaluation of density, distribution, epiphytism, size structure, morphology, age and growth of Pinna rudis (Linnaeus, 1758) in Cabrera National Park*. Projecte final de grau supervisat per S. Deudero i M. Vázquez-Luis. Grau en Ciències Marines, Facultat de Ciències, UA. Inèdita.
- Nebot-Colomer, E., Vázquez-Luis, M., García-March, J.R. i Deudero, S., 2016. Population Structure and Growth of the Threatened Pen Shell, *Pinna rudis* (Linnaeus, 1758) in a Western Mediterranean Marine Protected Area. *Mediterranean Marine Science*, 17 (3): 785-793. DOI: 10.12681/mms.1597
- Poppe, G.T. i Goto, Y., 1993. *European seashells*. Vol 2. Verlag Christa Hemmen. Wiesbaden, Germany, 57-72.
- Rabaoui, L., Zouari, S.T., Katsanevakis, S. i Ben Hassine, O.K., 2007. Comparison of absolute and relative growth patterns among five *Pinna nobilis* populations along the Tunisian coastline: an information theory approach. *Marine Biology* 152: 537-548.
- Richardson, C.A., Kennedy, H., Duarte, C.M., Kennedy, D.P. i Proud, S.V., 1999. Age and growth of the fan mussel *Pinna nobilis* from south-east Spanish Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows. *Marine Biology* 133: 205-212.
- Rouanet, E., Trigos, S. i Vicente, N., 2015. From youth to death of old age: the 50-year story of a *Pinna nobilis* fan mussel population at Port-Cros Island (Port-Cros National Park, Provence, Mediterranean Sea). *Sci. Rep. Port-Cros natl. Park*, 29: 209-222.
- Sureda, A., Natalotto, A., Álvarez, E. i Deudero, S., 2013. Increased antioxidant response and capability to produce ROS in hemocytes of *Pinna nobilis* L. exposed to anthropogenic activity. *Environmental Pollution*, 181: 321-324.
- Templado, J., Calvo, M., A., G., Luque, A.A., Maldonado, M. i Moro, L., 2004. *Guía de invertebrados y peces marinos*

- protegidos por la legislación nacional e internacional. Serie Técnica Naturaleza y Parques Nacionales. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Madrid. ISBN:84-8014-473-4 pp. 1-195*
- Trigos, S., Vicente, N., García-March, J.R., Jiménez, S. i Tena, J., 2013. Presence of *Pinna nobilis* and *Pinna rudis* in the Marine Protected Areas of the North Western Mediterranean. *In: 3rd International Marine Protected Areas Congress, Marseille and Corsica, 21-27 October 2013, France.*
- Vázquez-Luis, M., Banach-Esteve, G., Álvarez, E. i Deudero, S., 2014a. Colonization on *Pinna nobilis* at a Marine Protected Area: extent of the spread of two invasive seaweeds. *Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom.* doi: <http://dx.doi.org/10.1017/S002531541400037X>
- Vázquez-Luis, M., March, D., Álvarez, E., Alvarez-Berastegui, D. i Deudero, S., 2014b. Spatial distribution modelling of the endangered bivalve *Pinna nobilis* in a Marine Protected Area. *Mediterranean Marine Science*, 15/3: 626-634.
- Vázquez-Luis, M. i Deudero, S., 2014. *Informe final proyecto PINNA 024/2010. Informe tècnic. Instituto Español de Oceanografía-Organismo Autónomo de Parques Nacionales.* pp. 1-80.
- Vázquez-Luis, M., Borg, J.A., Morell, C., Banach-Esteve, G. i Deudero, S., 2015a. Influence of boat anchoring on *Pinna nobilis*: a field experiment using mimic units. *Marine and Freshwater Research*, 66(9) 786-794 <https://doi.org/10.1071/MF14285>
- Vázquez-Luis, M., Álvarez, E. i Deudero, S., 2015b. Estado de conservación del bivalvo amenazado *Pinna nobilis* en el Parque Nacional de Cabrera. *En: Proyectos de investigación en parques nacionales 2010-2013. En: Amengual, J. i Asensio, B. (Eds.). Naturaleza y Parques Nacionales, Serie de investigación en la red. Madrid, España, ISBN: 978-84-8014-870-2. 339-358 pp. (409pp)*
- Vázquez-Luis, M., Morató, M., Campillo, J.A., Guitart, C. i Deudero, S., 2016. High metal contents in the fan mussel *Pinna nobilis* in the Balearic Archipelago (Western Mediterranean Sea) and a review of concentrations in marine bivalves (Pinnidae). *Scientia Marina* 80(1): 111-122 DOI: 10.3989/scimar.04255.24B.
- Vázquez-Luis, M., Alvarez, E., Barrajón, A., García-March, J.R., Grau, A., Hendriks, I.E., Jiménez, S., Kersting, D., Moreno, D., Pérez, M., Ruiz, J.M., Sanchez, J. I Villalba, A., 2017a. S.O.S. *Pinna nobilis*: a mass mortality event in western Mediterranean Sea. *Frontiers in Marine Science, section Marine Ecosystem Ecology.* Volume 4, Article 220
- Vázquez-Luis, M., Álvarez, E. i Deudero, S., 2017b. Proposal of Action Plan for *Pinna nobilis* in the Mediterranean Sea in the frame of the Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Informe tècnic. Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Baleares, 53 pp. Inèdit
- Zavodnik, D., Hrs-Brenko, M. i Legac, M., 1991. Synopsis on the fan shell *Pinna nobilis* L. in the eastern Adriatic sea. *In: Boudouresque, C.F., Avon, M. i Gravez, V. (eds) Les Espèces Marines à Protéger en Méditerranée. Posidonie publ.* Marseille. Marseille 169-178.