

SEGUIMENT TEMPORAL DE LA GAROTA COMUNA

Paracentrotus lividus EN LES ILLES MEDES. EXERCICI 1999

Bernat HEREU i Mikel ZABALA

Departament d'Ecologia, Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona
Diagonal 645, 08028 Barcelona

INTRODUCCIÓ

La pesca té un important paper en l'estructuració tròfica dels ecosistemes marins litorals (Dayton et al., 1995; Botsford et al., 1997). La protecció de la pesca de zones de reserva i, per tant, l'augment de la depredació per part dels peixos, provoca uns efectes indirectes que es transmeten a través de la xarxa tròfica. Un dels models més estudiats que expliquen aquestes interaccions es el que formen les interaccions entre peixos garotes i algues. L'augment de la pressió de la depredació per part dels peixos pot fer disminuir les poblacions de garotes (McLanahan & Muthiga, 1989; McLanahan & Shafir, 1990; McLanahan & Sala, 1997) que, com a herbívors, tenen un important paper en l'estructuració i la composició de les comunitats algals (Lawrence, 1975; Schiel & Foster, 1986).

En els mars temperats les garotes són considerades com els herbívors més importants, i en el Mediterrani occidental *Paracentrotus lividus* l'espècie de garota més abundant (Harmelin et al. 1980, 1981) es la que més importància té com a herbívor dins la comunitat d'algues fotòfiles (Verlaque, 1987). El fet que la seva densitat i distribució estigui afectada pels seus depredadors (Sala, 1996; Sala & Zabala, 1996) i alhora influeixi significativament sobre les comunitats algals fa que estigui considerada una espècie clau (Paine, 1966), indicadora de l'estat i dels canvis que es puguin produir en la comunitat d'algues fotòfiles.

Tenim l'impressió que la densitat actual de garota *P. lividus* sobre el litoral Mediterrani és un fet recent, mediat per la pressió de l'home sobre els seus depredadors (peixos, crustacis...) i que té unes conseqüències molt nocives per les poblacions algals: la major part dels fons mediterranis actuals mostren símptomes de sobrepastura amb comunitats empobrides per l'excesiva pressió her-

bívora de les garotes (Kempf, 1962; Vukovic, 1982; Verlaque & Nedelec, 1983; Verlaque, 1987; Sala, 1996). Una qüestió interessant a resoldre es valorar fins a quin punt una elevada densitat de peixos és capaç de controlar demogràficament les poblacions de garotes (Tegner & Dayton, 1981; McLanahan & Muthiga, 1989; McLanahan & Shafir, 1990; Sala & Zabala, 1996).

Per segon any consecutiu es presenten també els resultats dels censos d' *A. lixula* dins els mateix programa de seguiment del patrimoni natural de la Reserva Marina de les Illes Medes. *Arbacia lixula* creiem que també es pot considerar bona descriptora de l'estat i els canvis en la comunitat algal infralitoral. Aquesta espècie es freqüent en la mateixa franja batimètrica que *P. lividus*, encara que s'han descrit microhàbitats diferenciats per ambdues espècies: així com *P. lividus* ocupa els fons dominats per algues erectes, *A. lixula* queda relegada a zones més esciàfiles amb dominància d'algues calcàries incrustants. Es per aquest fet que s'ha descrit aquesta distribució com una forma de partició dels recursos (Frantzis et al., 1988; Kempf, 1962)

A més de la possible competència amb *P. lividus* (ja sigui pels recursos tròfics o per els refugis que les protegeixen contra els seus depredadors), *A. lixula* té l'interés afegit que es considera una espècie termòfila (Francour et al., 1994), podent donar molt bona informació sobre possibles canvis a més gran escala.

Els objectius d'aquest apartat del seguiment temporal de la reserva es comparar l'evolució de la densitat i de l'estructura demogràfica de les poblacions de les garotes dins i fora de la reserva en situacions que, excepte en la densitat de peixos, són molt similars.

Els resultats dels censos durant els anys 1991-98 indiquen que tant les densitats com l'estructura de talles de *P. lividus* i *A. lixula* varien força,

tant a nivell espacial com temporal. Una de les causes d'aquesta variabilitat espacial és deguda a la topografia. En zones on hi han fons de blocs, amb esclertes i refugis assequibles les densitats són més elevades i les talles menors que en parets verticals.

Durant els primers anys de control es varen constatar una diferència en les densitats de dins i de fora de la reserva (densitats menors i talles més grans), encara que aquests últims anys, aquestes diferències han tendit a disminuir. Les variacions que es presenten a nivell de les diferents zones estudiades (dins i fora de la reserva) poden estar causades per la pressió de depredació per part dels peixos, encara que hi ha factors aliens que poden tenir certa importància. Tant les pautes de reclutament de *P. lividus* (molt heterogeni en l'espai), com l'accés a refugis per evitar la depredació o les condicions oceanogràfiques (p.e. pol.lució orgànica) poden influir substancialment en l'estructura de les seves poblacions. És per això que es fa necessari un

control a llarg terme, per tal de anul·lar aquests factors i tenir una idea clara de quina és l'evolució de les comunitats dins la zona de reserva respecte la zona no protegida.

METODOLOGIA

Les variables triades són: 1) la densitat (nombre d'individus per metre quadrat: Ind/m²) i 2) l'estructura de les mides de la població quan es considera el diàmetre de la closca sense espines en cm. com a descriptor.

La metodologia utilitzada es la de censos visuals sobre transectes fets amb escafandre autònom. Els transectes cobreixen una superfície de 50m², i estan delimitats per una cinta mètrica de 50 metres de llargada i per una barra de PVC de 1 metre de llargada amb la que es ressegueix el recorregut de la cinta mètrica. Per a calcular l'estructura de talles es mesura el diàmetre de la closca sense espines mitjançant un peu de rei amb



Figura 1. Garota comuna (*Paracentrotus lividus*). Segiment 1999. Localització dels transectes.

Taula 1. Garota comuna (*Paracentrotus lividus*). Seguiment 1999. Situacions experimentals dins i fora la reserva.

	Blocs	Paret
RESERVA		
C. Bernat		X
Tascons	X	
Vaca		X
Freuetó	X	
RESERVA (Costa)		
Molinet	X	
Punta Salines		X
NO RESERVA		
Falaguer	X	X

precisió de ± 1 mm. En cada transecte es medeix un mínim de 100 individus, passant a continuació a contar totes les garotes trobades -sense mesurar-les- per a calcular la densitat. En el cas de *Arbacia lixula* s'han mesurat tots els individus degut a la baixa densitat de les poblacions d'aquesta espècie.

Les situacions experimentals han estat definides com a diferents combinacions del tipus de fons (blocs i paret) i el grau de protecció (reserva o no reserva), tal i com es mostren en la taula 1. De cadascuna de les situacions s'han fet 3 transectes, sient un total de 24. Aquests, han estat cada any els mateixos i s'hi troben representades totes les situacions experimentals. Les localitzacions de les estacions de mostreig no han variat respecte l'any passat i es mostren en la figura 1.

La profunditat dels transectes té una mitjana de 6m, i varia entre 5-7m.

Per tal de veure la significació estadística de les diferències observades, s'ha realitzat anàlisi de la variància (ANOVA) de les dades resultants dels paràmetres "densitat" i "diàmetre mitjà" de les poblacions.

RESULTATS

Paracentrotus lividus

Estat de les poblacions en 1999

Els resultats obtinguts en 1999 en el seguiment de *P.lividus* es resumeixen en la taula 2 i en la figura 2. La taula 2 mostra el valor promig i la

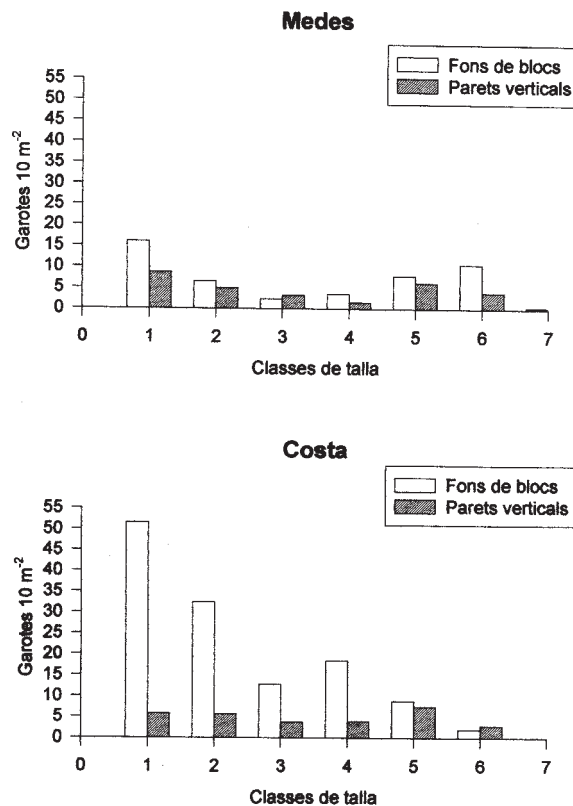


Figura 2. Garota comuna (*Paracentrotus lividus*). Seguiment 1999. Estructura de talles dins i fora de les Medes; a) Medes; b) Costa del Montgri.

desviació mitjana de les densitats i les talles de *P.lividus*. En la figura 2 es representa en forma d'histogrammes les densitats de cada classe de talla, a cada tipus de fons, dins i fora de l'Àrea Marina Protegida.

Les diferències per efecte de la topografia es mostren clarament un any més, ja que les densitats són menors ($F(10,07) = 37,95$; $p < 0,001$) i les talles més grans ($F(2,19) = 68,91$; $p < 0,001$) en les parets verticals que en els fons de blocs.

L'anàlisi comparatiu de les diferents estacions de dins i fora l'AMP mostren per primer cop diferències estadísticament significatives en les densitats dels fons de blocs, però no en les parets verticals ($F(9,17) = 35,64$; $p < 0,01$ i $F(0,01) = 0,09$; $p < 0,92$ respectivament). Aquestes diferències són degudes a l'aparició, especialment fora de l'AMP, de gran nombre de garotes de talles petites (1-2 cm) fruit d'un reclutament excepcional (com s'ha pogut constatar en estudis paral·lels).

L'evolució de les talles segueix el mateix patró dels anys anteriors: mentre dins l'AMP les talles són majors en els fons de blocs ($F(5,6) = 192,06$; $p < 0,001$), són menors en les parets verticals ($F(0,12) = 4,04$; $p < 0,04$).

Taula 2. Garota comuna (*Paracentrotus lividus*). Seguiment 1999. Densitats (Ind/m^2) i diàmetres mitjans (cm) i desviacions típiques de la garota comuna (*Paracentrotus lividus*) en els punts de mostreig de les Illes Medes i la costa del Montgri durant l'any 1998

	DENSITAT		DIÀMETRE	
	Xn	STD	Xn	STD
RESERVA				
C. Bernat	0,59	1,19	4,02	1,69
Tascons	6,47	3,23	3,53	2,04
Vaca	5,09	4,47	2,99	1,88
Freuetó	3,07	1,60	3,10	2,12
COSTA RESERVA				
Punta Salines	3,12	3,59	3,40	1,84
Molinet	15,33	6,63	1,85	1,11
NO RESERVA				
Falguer paret	2,74	2,49	3,32	1,62
Falguer blocs	9,85	5,23	2,89	1,51

Evolució de les poblacions al llarg dels anys de seguiment.

Les figures 3 i 4 mostren l'evolució de les densitats i les talles mitges de *P. lividus* de cada estació durant els anys de seguiment. La figura 5 mostra en forma d'histogrames la freqüència rela-

tiva de les diferents talles de cada estació durant tots els anys de seguiment.

Les densitats de *P. lividus* mostren una tendència a una homogeneïtzació entre els valors de les estacions de dins i de fora de l'AMP. Així com els primers anys s'observà, sobretot en els fons de blocs, una densitat menor a les estacions de dins l'AMP, durant els últims anys aquestes tendències sembla que tendeixen a disminuir, assolint totes

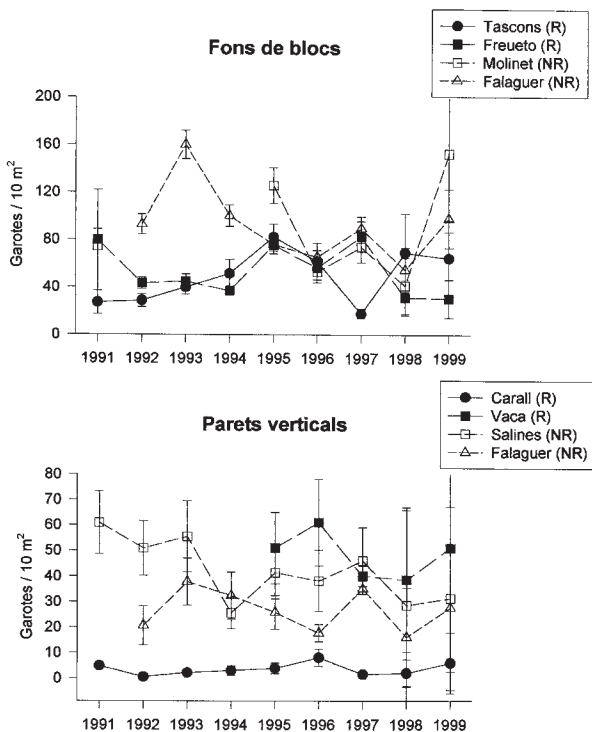


Figura 3. Garota comuna (*Paracentrotus lividus*). Seguiment 1991-1999. Evolució de les densitats (Ind/m^2) al llarg dels anys de seguiment en les diferents situacions experimentals estudiades; a) fons de blocs, b) parets verticals. Signes plens: Medes; Signes buits: costa del Montgri.

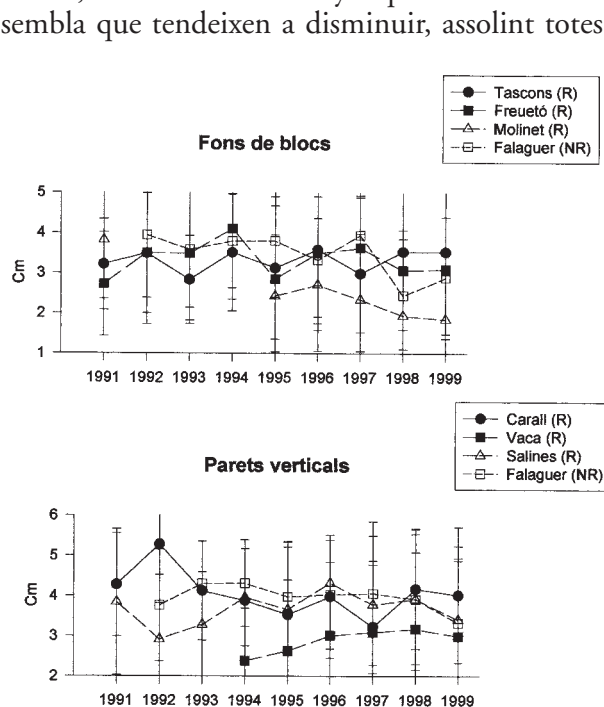


Figura 4. Garota comuna (*Paracentrotus lividus*). Seguiment 1991-1999. Evolució de les talles mitges (cm. diàmetre) al llarg dels anys de seguiment en les diferents situacions experimentals estudiades; a) fons de blocs, b) parets verticals. Signes plens: Medes; Signes buits: costa del Montgri.

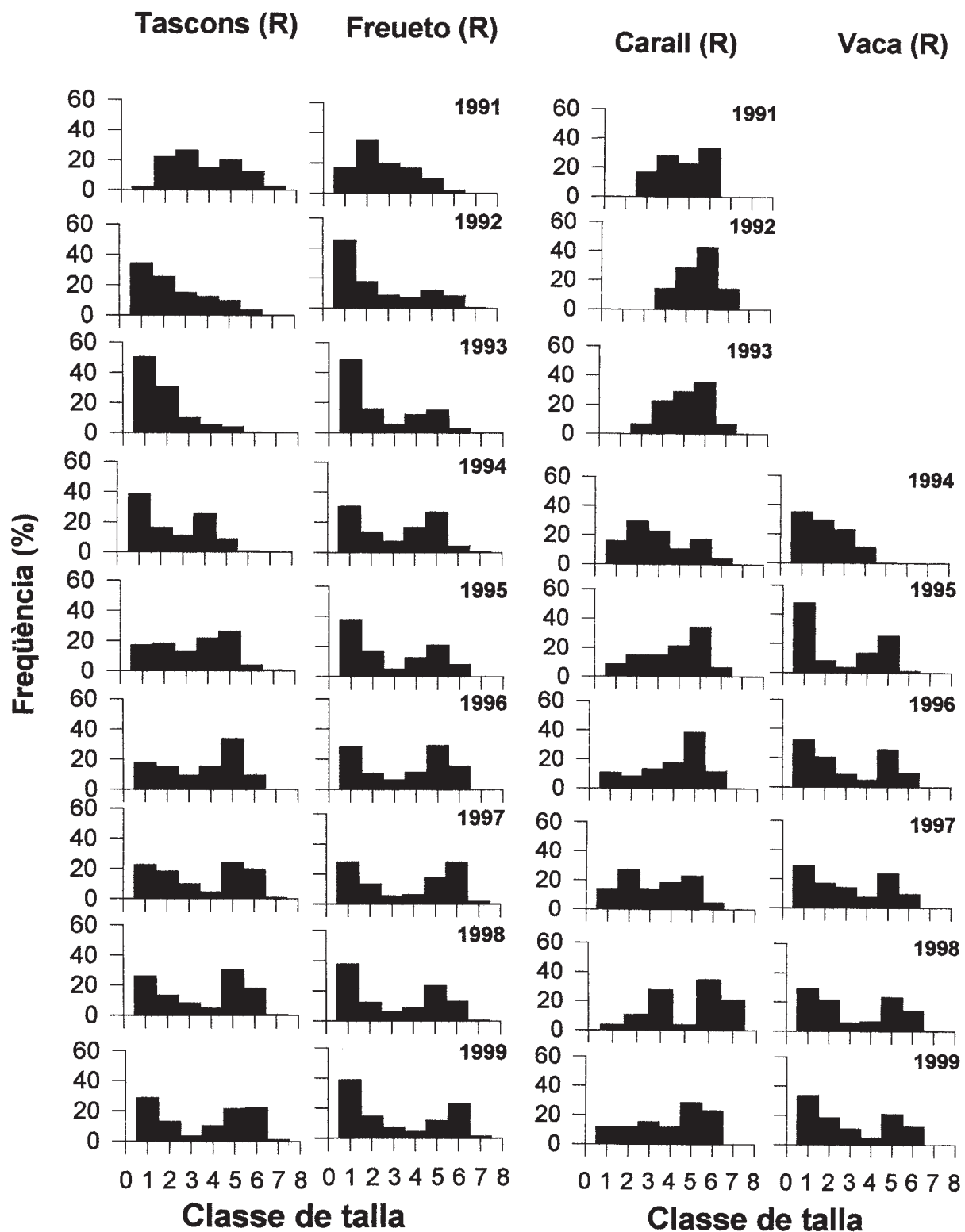


Figura 5. *Garota comuna* (*Paracentrotus lividus*). Seguiment 1991-1999. Histogrames de les classes de talla de cada estació al llarg de tots els anys de seguiment.

les estacions uns valors similars. Aquest any, no obstant hi ha hagut diferències importants degudes al fort reclutament que s'ha detectat a la zona del Molinet. Aquestes arribades massives de reclutes en zones relativament concretes dona una gran variabilitat als valors de densitat, sobre-

tot en les talles petites, encara que les poblacions de garotes adultes (>4 cm) es mantinguin més estables.

Les estructures de talles mostren un any més un patró bimodal, amb els pics centrats en les talles petites de 1 i 2 cm i en la talla 5-6 cm.

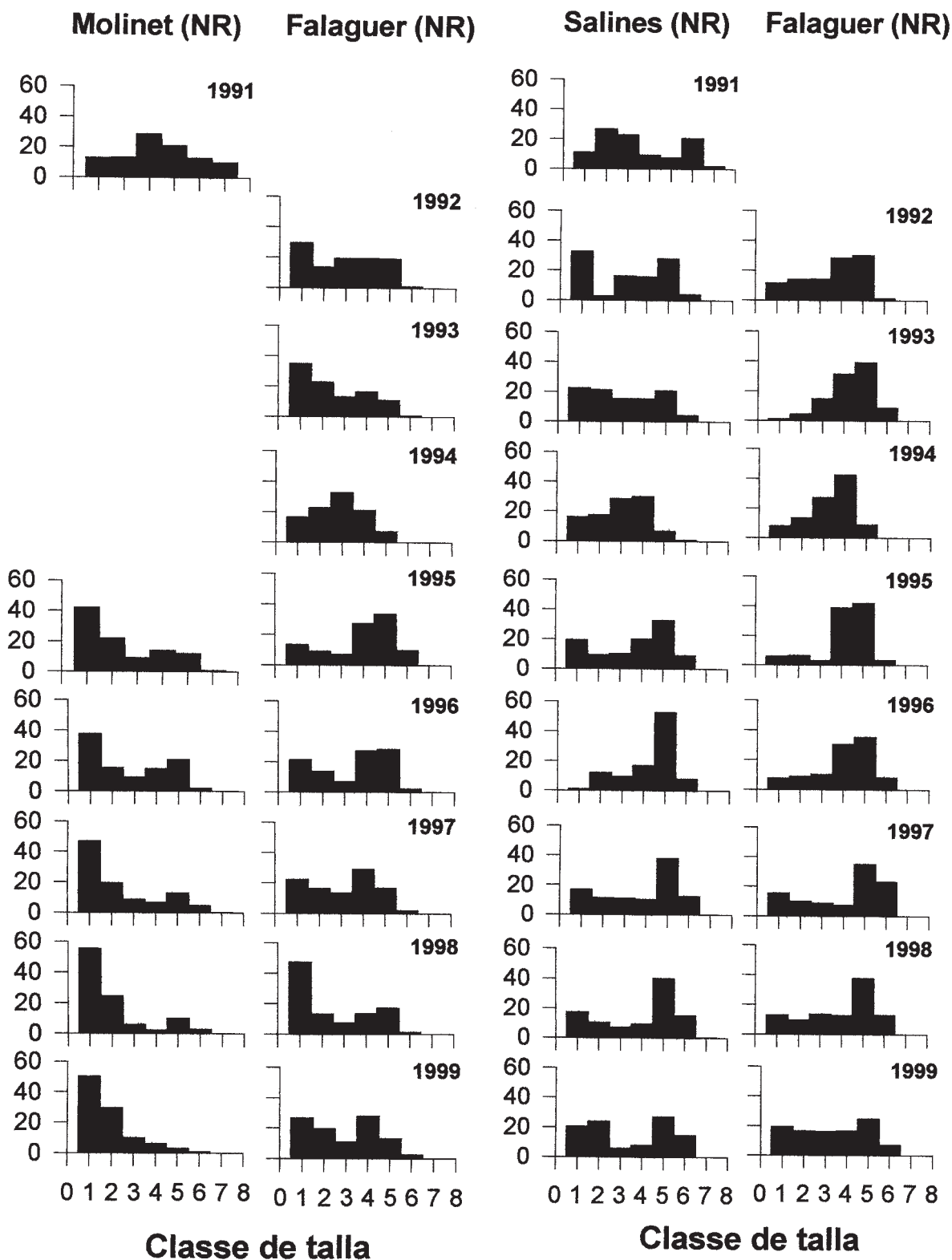


Figura 5. (Cont.) *Garota comuna* (*Paracentrotus lividus*). Seguiment 1991-1999. Histogrames de les classes de talla de cada estació al llarg de tots els anys de seguiment.

Aquest patró es comú als dos tipus de fons estudiats, encara que les classes de talla petites es troben més ben representades en els fons de blocs. Cal remarcar un cop més el fort augment de les talles petites de l'estació del Molinet.

Arbacia lixula

Estat de les poblacions en 1999

La taula 3 mostra els valors de les densitats i

Taula 3. Garota negra (*Arbacia lixula*). Seguiment 1999. Densitats (Ind/m^2) i diàmetres mitjans (cm) i desviacions típiques de la garota negra (*Arbacia lixula*) en els punts de mostreig de les Illes Medes i la costa del Montgrí durant l'any 1998.

	DENSITAT		DIÀMETRE	
	Xn	STD	Xn	STD
RESERVA				
C.Bernat	0,13	0,53	4,50	0,71
Tascons	0,80	1,32	2,00	1,35
Vaca	1,00	2,45	4,14	0,66
Freuetó	3,79	3,12	3,79	3,12
COSTA RESERVA				
Punta Salines	0,60	1,55	4,30	1,06
Molinet	1,80	1,78	3,70	0,87
NO RESERVA				
Falaguer paret	1,87	3,04	3,96	0,51
Falaguer blocs	4,33	4,85	3,94	0,53

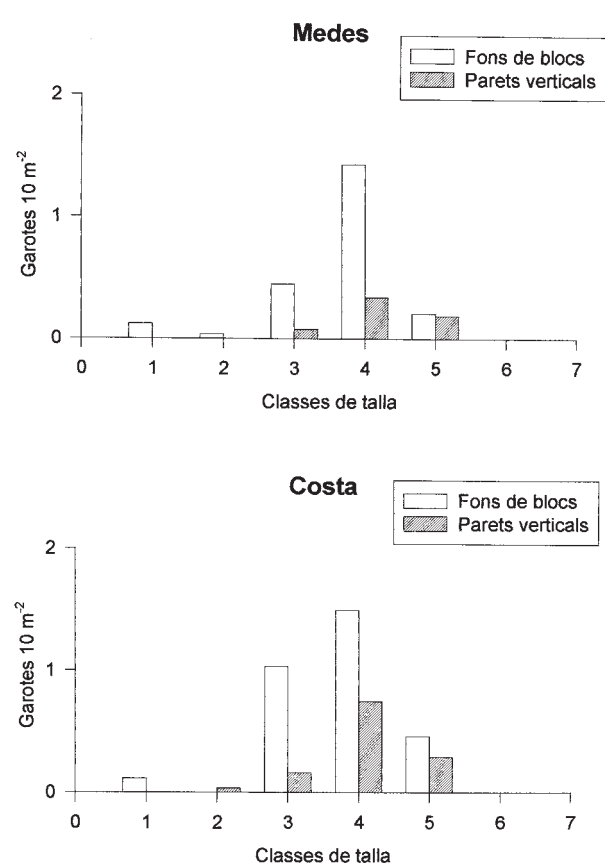


Figura 6. Garota negra (*Arbacia lixula*). Seguiment 1999. Estructura de talles dins i fora de les Medes; a) Medes; b) Costa del Montgrí.

els diàmetres mitjos trobats als transectes realitzats el 1999. En la figura 6 es representa en forma d'histogrammes les densitats de cada classe de talla, a cada tipus de fons (blocs i parets), dins i fora de l'AMP.

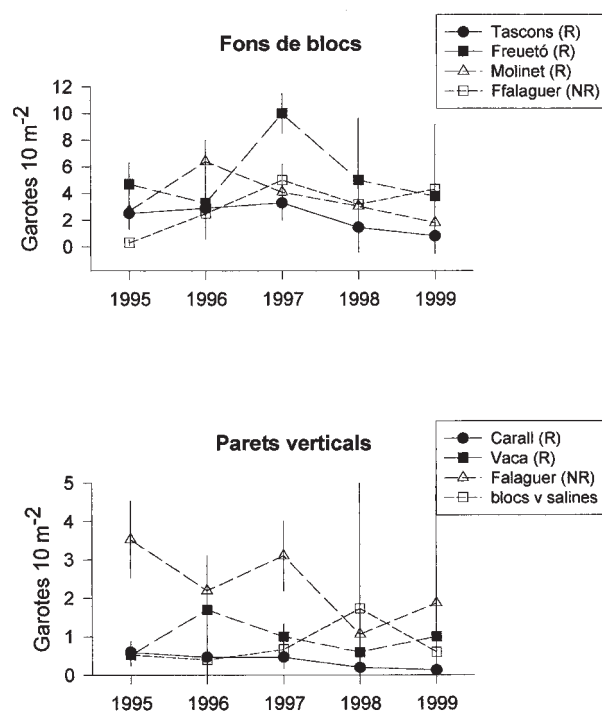


Figura 7. Garota negra (*Arbacia lixula*). Seguiment 1995-1999. Evolució de les densitats (Ind/m^2) al llarg dels anys de seguiment en les diferents situacions experimentals estudiades; a) fons de blocs, b) parets verticals. Signes plens: Medes; Signes buits: costa del Montgrí.

Les diferències de densitat i talles entre els fons de blocs i les parets verticals de *A. lixula* semblen seguir el mateix patró de *P. lividus*: així com en els fons de blocs les densitats són més elevades ($F(0,9) = 11,49$; $p < 0,001$), les talles mitges són més petites ($F(0,29) = 4,24$; $p < 0,041$).

L'estudi comparat entre les poblacions de la costa del Montgrí i les Illes Medes mostren un any més forces similituds. L'anàlisi estadístic de

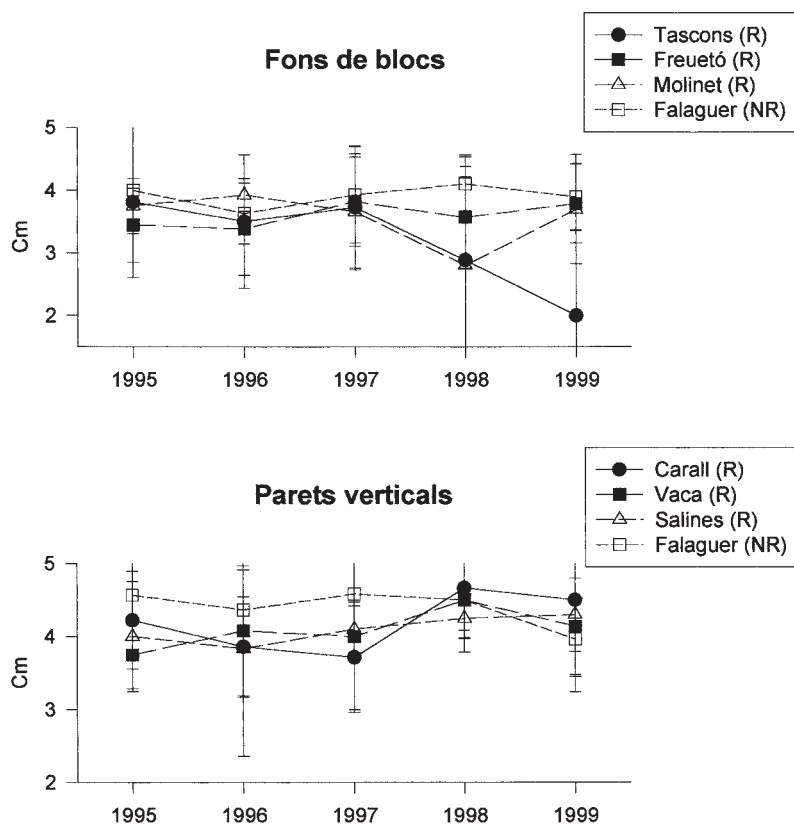


Figura 8. Garota negra (*Arbacia lixula*). Seguiment 1995-1999. Evolució de les talles mitges (cm. diàmetre) al llarg dels anys de seguiment en les diferents situacions experimentals estudiades; a) fons de blocs, b) parets verticals. Signes plens: Medes; Signes buits: costa del Montgri.

Taula 4. Garota negra (*Arbacia lixula*). Seguiment 1999. Resum de l'anàlisi de la variància entre les densitats mitjanes d'*A. lixula* en a) parets verticals i b) fons de blocs amb comparacions post-hoc de Tukey entre parcel·les d'anys i en les talles dels c) fons de blocs i d) parets verticals.

a)						
	gll	SS	MS	F	p	
Any	4	3,758	0,939	3,98	0,003***	
Error	288	67,92	0,051			
b)						
	gll	SS	MS	F	p	
Any	4	0,225	0,056	1,110	0,351 ns	
Error	295	14,941	0,050			
	1995	1996	1997	1998		
1995						
1996	0,658 ns					
1997	0,006 ***	0,234 ns				
1998	0,989 ns	0,917 ns	0,034 **			
1999	1,000 ns	0,727 ns	0,009***	0,996 ns		
c)						
	gll	SS	MS	F	p	
Any	4	5,127	1,282	2,562	0,038*	
Error	316	158,075	0,500			
d)						
	gll	SS	MS	F	p	
Any	4	8,365	2,091	2,839	0,023*	
Error	816	601,116	0,737			

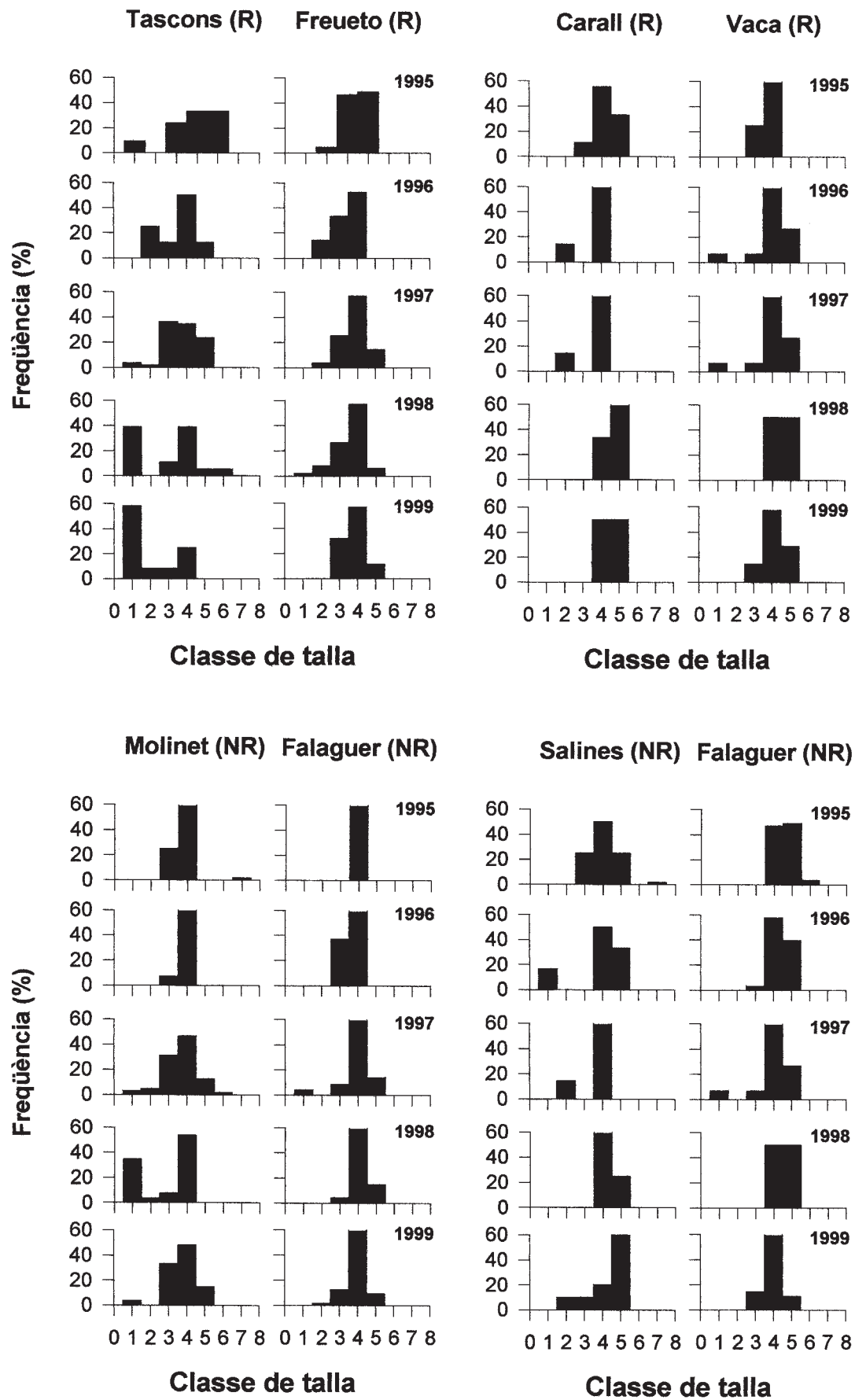


Figura 9. *Garota negra* (*Arbacia lixula*). Seguiment 1995-1999). Histogrames de les classes de talla de cada estació al llarg de tots els anys de seguiment

densitats i talles tant de les poblacions dels fons de blocs ($F(0,087)=0,0076$; $p<0,783$) i ($F(0,228)=1,826$; $p<0,178$) com les de les parets verticals ($F(0,24)=1,33$; $p<0,25$) i ($F(0,044)=1,79$; $p<0,179$) no mostren diferències estadísticament significatives.

Evolució de les poblacions al llarg dels anys de seguiment.

Les Figures 7 i 8 mostren respectivament l'evolució de les densitats i de les talles mitges de *A. lixula* a cada estació durant els anys de seguiment. La figura 9 mostra en forma d'histogrames l'evolució de la freqüència relativa de les diferents talles a cada estació, durant tots els anys de seguiment.

Les poblacions d'*A. lixula* a mesura que s'ha anat allargant la sèrie ha mostrat una forta regularitat.

L'anàlisi estadístic de l'evolució temporal de les densitats de *A. lixula* (Taula 4) no mostra diferències entre anys en les parets verticals però sí en els fons de blocs. Un anàlisi post-hoc de Tukey es pot comprovar que aquesta diferència en el blocs és deguda només a l'elevada densitat mostrada a l'estació del Falaguer l'any 1997. Aquest elevat valor va aparèixer puntualment en aquell any, mentre que en els següents la densitat ha baixat i establert en els valor dels primers anys de control d'aquesta espècie.

L'evolució de les talles mitjanes tampoc mostra un patró clar. Encara que les diferències entre anys son lleugerament significatives, l'anàlisi Post-hoc de Tukey no discerneix entre cap parell d'anys (taula 4 c i d), i no es mostra cap tendència clara en la seva evolució.

Les poblacions de *A. lixula* mantenen una estructura de patró unimodal, amb una important acumulació en les talles de 4 i 5cm. Aquest patró és clarament diferent al patró bimodal de *P. lividus*.

Un any més sembla que el reclutament de *A. lixula* ha estat menyspreable. Ni tan sols al Molinet i en fort contrast amb l'observat amb *P. lividus*, no s'ha detectat cap arribada sensible de nous individus joves a la població.

DISCUSSIÓ I CONCLUSIONS

Un dels efectes indirectes o en cascada (Wootton, J., 1992; 1993) més notables de la pressió humana (excesiva) sobre els depredadors de

molts ecosistemes, tant terrestres com aquàtics, és el desenvolupament desmesurat d'algunes poblacions d'herbívoros; els herbívoros, lliures de control, poden produir severos episodis de sobre-pastura que, en reduir excessivament la cobertura vegetal necessària per a moltes altres espècies (com recurs tròfic i refugi), de retruc porten a un empobriment de la biodiversitat global del sistema. Aquest efecte ha estat posat en evidència amb els ungulats domèstics (p.e. cabres), amb els grans herbívoros de la savana africana (p.e. elefants), però també en els sistemes litorals tropicals amb els equinoderms que mengen coralls (p.e. estrelles i garotes).

Un tema de recerca d'interés evident per a la gestió del patrimoni natural és avaluar fins quin punt la restauració dins els espais protegits de les poblacions de depredadors a les seves densitats "naturals" és capaç d'evitar o, en el seu cas de rectificar, una situació aguda de sobre-pastura i les seves conseqüències empobridores per la biodiversitat de l'espai.

És un fet ben establert que les garotes *Paracentrotus lividus*, els principals herbívoros dels litorals rocosos mediterrànics, són capaces de canviar substancialment el paisatge vegetal per sobre-pastura (fins a produir els anomenats "jardins d'oursins" (Verlaque, 1987). Com també sembla ben demostrat que alguns peixos litorals, bàsicament espàrids (sargs *Diplodus sargus* i *D. vulgaris*, orades *Sparus aurata*) i làbrids (julivía *Coris julis*), consumeixen quantitats substancials d'aquestes garotes (Sala, 1996) (Fig. 10-11). El que no està ben establert encara a la Mediterrània, tot i haver estat suggerit (Sala, 1996) i provat en alguns mars tropicals (McClanahan & Muthiga, 1989), és la capacitat efectiva de la ictiofauna d'exercir un control real de les poblacions de garotes.

Front el poder regulador de la depredació (en aquest cas per part dels peixos) es troba el poder desestabilitzador (dinamitzador) del reclutament, que consisteix en l'adició de nous individus juvenils a les poblacions bentòniques des del plàncton. Com les larves planctòniques poden ser desplaçades llargues distàncies pels corrents, el reclutament anual pot ser llargament independent de la mida de la població local de reproductors. Això portaria a les poblacions a un estat molt allunyat dels clàssics models d'equilibri (Lotka i Volterra en Margalef, 1974). Comencem a tenir evidències que el reclutament de *Paracentrotus lividus* és un procés enormement fluctuant entre anys i entre llocs (Lozano et al., 1995); i que pot assolir màxims tan elevats (hom ha



Figura 10. *Coris julis* mascle depredant juvenils de garota *Paracentrotus lividus* disposats en superfícies experimentals.



Figura 11. Els sargs (*Dipodus sargus*), juntament amb *Coris julis* son considerats els principals peixos depredadors de *Paracentrotus lividus*.

detectat més de 3000 reclutes per m²; Sala, 1996) com per transformar completament l'estructura demogràfica d'una població.

En el conflicte sobre quin dels dos processos resulta dominant, la capacitat reguladora de la depredació o la capacitat desestabilitzadora del reclutament, un tercer factor pot tenir una importància definitiva : la topografia. Com demostren les experiències de preferències dietàries amb palangres (Sala, 1996), les fases crítiques per a la depredació de *Paracentrotus lividus* per part dels peixos són les etapes juvenils, des dels post-reclutes de tan sols uns mil·límetres de diàmetre fins a la talla d'uns 3 cm de diàmetre (Sala, 1996). Quan aquests exemplars són exposats damunt roques de superfície llisa la majoria són consumits abans de 3 dies; però en presència d'escltxes i blocs de mida adequada per servir-ne de refugi, sembla que bona part d'aquestes garotes són capaces d'escapar de la depredació.

Així que, perfilant la qüestió, el que interessa discutir aquí no és la possible capacitat reguladora dels peixos depredadors sobre les poblacions de *Paracentrotus lividus*, que potencialment sembla indiscutible, sinó la seva capacitat real en ambients on el reclutament és important i la rugositat adequada a la supervivència dels juvenils. En concret, es tracta d'avaluar fins quin punt a les Reserves Marines, on l'efecte depredador dels peixos pot trobar la seva màxima expressió, les poblacions de peixos són capaços d'annular de forma efectiva l'efecte contrari del reclutament en presència de fons rugosos.

La hipòtesi d'un control efectiu de les poblacions de garotes per part dels peixos dins les Reserves Marines, la podem desglossar en quatre prediccions que resulten fàcilment testables quan es comparen les densitats i l'estructura de talles de poblacions situades dintre i fora de la Reserva. Si l'hipòtesi és correcta hom espera trobar dins la Reserva:

1) valors de densitat significativament més baixos,

2) un percentatge més important de les classes "refugi" ($\Delta > 4$ cm), que ha de reflectir-se en una talla mitjana superior per al conjunt de la mostra

3) una evolució temporal menys fluctuant, que ha de reflectir-se en una variança més petita de les mitjanes anuals. Aquesta predicció pot testar-se per les densitats i les talles mesurades durant l'interval 1991-97.

4) una més gran diferència entre les talles mitjanes de les poblacions dels fons de blocs (refugi) i de parets (no refugis), que en les poblacions de fons equivalents de fora de la Reserva.

A més, el sector de costa comprés entre el Molinet i Punta Salines, nominalment protegit des de 1990, ha evolucionat en aquests 9 anys, des d'una situació de no protecció similar a la de la resta de la costa fins a una situació de Reserva que, per la seva "juventut" i per un grau de vigilància més laxa podem considerar de grau mig entre el de les Medes i la costa no protegida. La densitat de peixos en aquest sector ha augmentat significativament (veure la memòria de peixos de 1995 i 1997; Garcia-Rubiés i Zabala) de forma que l'evolució de les densitats i talles de les garotes constitueix un experiment no controlat de l'efecte de la depredació dels peixos. Si aquest efecte fos significatiu, hom podria prevenir una evolució temporal a les estacions del Molinet i Pta. Salines en el sentit de :

- 5) un decrement de la densitat ,
- 6) un augment de la talla mitjana, i
- 7) un augment de la diferència entre les talles mitjanes dels fons de blocs (Molinet) i paret (Pta. Salines).

Alternativament, si l'efecte del reclutament fos més important que el degut a la mortalitat induïda pels peixos, cap de les anteriors prediccions tindria per que aconseguir-se.

A la llum de les dades recollides durant el període de 9 anys comprés entre 1991 i 1999 revisem el grau d'acompliment d'aquestes prediccions.

Densitats significativament més baixes a la Reserva.

Les densitats varen ser significativament més baixes dins la Reserva que fora de la Reserva entre 1991 i 1994 (ambdós inclosos), però les diferències es varen anar diluint a partir de 1995 fins anul·lar-se quasi totalment els anys 1996, 1997 i 1999 (Fig. 3). Els pics, o crestes que apareixen a la sèrie, com l'apareguda enguany a l'estació del Molinet son degudes bàsicament a l'arribada massiva de i no a la variabilitat espacial (bloquejada mitjançant transectes fixes repetits any rera any a les mateixes zones) o a errors en el mostreig. Aquestes garotes petites (talles de 1-2 cm) son capaces de modificar molt les densitats, però en termes de biomassa la seva importància minva considerablement. A més, representen una fracció molt efímera degut a la forta mortalitat que pateixen i que fa que abans d'arribar a talles grans (>3 cm) ja hagin sofert una forta davallada. Si considerem només les garotes grans, aquestes crestes en la sèrie es redueixen considerablement.

Les diferències semblaven més consistents a les parets verticals, però la inclusió de la paret de la Cova de la Vaca (Reserva), amb densitats molt superiors a les del Carall Bernat, l'altra paret de la Reserva, i més elevades que les del Falaguer (fora de la Reserva) posa en evidència que les diferències poden ser degudes a fenòmens locals i a factors que escapen a la nostra anàlisi. Com per exemple, la micro-rugositat de la paret o la fondària del peu de la paret que pot condicionar la capacitat de recolonització per migració dels adults. Tanmateix, si hom observa l'estructura de talles de la població de la Vaca, jove i marcadament bimodal, resulta evident que les densitats actuals provenen d'algun episodi recent de fort reclutament.

Talles mitjanes significativament més grans

La predicció de que les talles mitjanes han de ser més grans dins la reserva, on les garotes poden trobar un refugi en la talla contra els depredadors (peixos), no s'acompleix de forma consistent ni als fons de blocs ni a les parets verticals. El diàmetre mig de les garotes era significativament més gran dins la Reserva que fora de la Reserva entre 1991 i 1993 als fons de blocs , i només el 1992 als fons de paret. Però en 1994 , amb l'incorporació de la paret de la Vaca al seguiment, es va invertir la tendència i en els anys posteriors les talles mitjanes són similars o superiors fora de la Reserva (Fig. 4).

No obstant això, si analitzem els fons de blocs, veiem que aquest any, un altre cop, les talles de dins de la reserva son superiors a les de la costa. Aquesta diferència ha augmentat degut a una tendència sostinguda durant els últims anys cap a la disminució de la talla mitjana de la població del Falaguer. Aquesta disminució de la mida, juntament amb una disminució de les densitats, fa pensar que en aquella zona s'hi pesquen garotes de forma artesanal.

Evolució temporal menys fluctuant

La única estació de la Reserva que sembla aconseguir la predicció d'una evolució temporal poc fluctuant de les poblacions de garotes és la del Carall Bernat. És aquesta una estació que, pel seu perfil (molt vertical i llis) o potser per la dificultat de ser recolonitzada per les garotes arrencades dels seus ancoratges durant els temporals, ha mostrat de sempre densitats extremadament baixes. Pel que fa a les demés estacions, tant de fons de blocs com de parets, i tant pel que fa a la densitat com a la talla mitjana, la variança de les mitjanes anuals no permet distingir les poblacions de la Reserva a les Medes, de les de la Reserva recent a la costa, de les de fora de la Reserva (Fig.3).

Més gran diferència entre la talla mitjana dels fons de blocs i els fons de paret.

Suposem que els peixos poden depredar sobre les garotes amb més facilitat a les parets verticals, llises i sense refugis, que als fons de blocs sota els que aquestes poden trobar el seu refugi diürn. Sabem que a partir de 4 cm de diàmetre les garotes escapen de la part més important de la depredació dels peixos gràcies a la seva talla (Sala,

1996). En conseqüència, si la pressió dels peixos és forta, a les parets on els refugis són escadussers han de predominar les talles grosses, mentre que als blocs la presència de refugis permet subsistir als individus de talles petites. És a dir que una elevada pressió dels peixos ha de maximitzar la diferència en la talla mitjana entre les poblacions dels dos ambients, mentre que si la densitat de peixos és feble totes les talles poden viure als dos ambients i la diferència de la talla mitjana entre ambients ha de fer-se mínima.

Durant els anys 1991-93 la predicció sembla acomplir-se als parells d'estacions de la Reserva, Carall Bernat (paret)- Tascons (blocs), on les diferències són molt superiors a les observades al parell Pta. Salines (paret) - Molinet (blocs) i al parell Falaguer (paret)-Falaguer (blocs). Aquestes diferències es van esmoreint els anys successius, i fins i tot s'inverteixen el 1997. Aquest any les diferències a la zona no protegida es fan especialment grans malgrat la disminució de les talles grans al Falaguer degut al fort reclutament de talles petites detectat a tota la zona de costa.

Tendència temporal a la disminució de la densitat a la Reserva "recent"

Encara que no es vegi un patró clar de disminució de les densitats, sembla que hi ha una tendència en aquest sentit. A l'estació de Pta. Salines la densitat va decreixer, com previst, entre els anys 1991 i 1994, entre 1995 i 1997 va recreixer fins a recuperar quasi un 30 % de la densitat perduda però aquest any ha tornat a baixar assolint nivells similars a 1994. A l'estació del Molinet, les densitats es varen mesurar l'any 1991 i després en l'interval de 1995 a 1998. El valor de 1995 era superior al de 1991 però després va decreixer entre 1995 i 1998 excepte una petita remuntada el 1997, assolint el 1998 valors inferiors a 1991. Enguany torna a haver una remuntada espectacular de les densitats a causa de l'abundància de reclutes. Aquesta forta variabilitat fa pensar que aquesta es una estació molt influenciada pels episodis de reclutament, ja sigui per una major afinitat per a l'assentament larvari o degut a l'alta supervivència dels post-assentats degut a la seva peculiar rugositat (petits blocs sobre material detrític granulat).

Tendència temporal a l'increment de la talla mitjana a la Reserva "recent"

Tampoc es veu una tendència clara en les

talles mitjanes. A l'estació de la Pta. Salines la talla mitjana decreix de 1991 a 1992; entre 1992 i 1994 creix i assoleix uns nivells similars als de 1991 que es mantenen, excepte en un petita pujada el 1996. L'estació del Molinet mostra un patró invers, on la talla mitja ha anat disminuint regularment durant els anys de l'estudi.

Aquests resultats poden haver quedat enfosquits per la pressió de recol·lecció humana que selecciona les talles més grosses. Tanmateix, la pressió d'extracció de garotes en aquesta zona nominalment protegida, si ha existit, no sembla suficient per justificar les diferències, que més aviat poden quedar explicades pels forts períodes de reclutament.

Tendència temporal al l'augment de les diferències en les talles mitjanes entre els fons de paret i blocs a la Reserva "recent"

L'absència de dades dels fons de blocs del Molinet entre els anys 1992 i 1994 no permet comparar més dades que la referència de 1991 amb les dades dels anys 1995-98. En aquest cas si que sembla observar-se la tendència esperada i les diferències augmenten a favor dels fons de paret. Però cal recordar que una tendència semblant ha estat observada a la costa immediata exempta de protecció, i en la que les poblacions de peixos no han patit una recuperació o han mostrat una clara regressió.

En definitiva, no sembla acomplir-se cap de les prediccions fetes sota la premissa d'un eficaç control dels peixos sobre les poblacions de garotes. Al contrari, una simple ullada a l'evolució conjunta de la densitat i la talla mitjana de les poblacions d'algunes estacions de la Reserva de les Medes (p.e. La Vaca) permet concloure que no sols han existit episodis de fort reclutament, sinó que els seus efectes es detecten sobre les classes diamètriques de 1-2 cm, que previsiblement han sobreviscut durant més d'un any assentades en aquelles localitats a la pressió dels peixos. Aquests episodis de reclutament són capaços de trastocar les distribucions de densitat i l'estructura de talles de totes les poblacions, sense que en aquest aspecte es pugui detectar un efecte diferencial de la Reserva.

En conseqüència, la conclusió més clara d'aquesta monitorització apuntaria a que els peixos, ni tan sols quan es troben en densitats idealment elevades com a la Reserva de les Illes Medes, són capaços de controlar a curt-mig termini els pulsos demogràfics deguts a la variabilitat del reclu-

tament, quan aquest és abundant i el substrat ofereix la rugositat adequada per servir de refugi.

Les densitats de *A. lixula* són de un ordre de magnitud inferior a les de *P. lividus*. Malgrat això els patrons de distribució sobre fons de paret o de blocs es comporten de una forma similar. Aquest fet podria estar provocat també per l'efecte dels depredadors (en els fons de blocs la disponibilitat de refugis es superior a la de les parets verticals), encara que creiem que no en aquesta espècie no és tant important com en *P. lividus*.

L'augment de les densitats que es va detectar en els anys 1995-97 sembla que no es manté, ja que el 1998 i 1999 hi ha una sensible disminució. No obstant, pensem que encara hi ha poques dades per a observar cap tendència, ja que aquesta, sembla que es una espècie de dinàmica més lenta. Tal com es pot deduir en l'anàlisi de l'estructura de talles, on les classes de talla petita són pràcticament inexistent, *A. lixula* no es reproduïx cada any; en canvi, hi ha una gran dominància d'unes poques classes grans. Degut a aquest flux demogràfic discontinu, és possible que els anys següents a un reclutament favorable es detectin canvis importants en l'estructura de les poblacions d'aquesta espècie. El pic de densitat observat a l'estació del Freuetó en 1997 no sembla ser més que un artefacte, fruit de la combinació de la forta variabilitat espacial i de la baixa densitat general d'aquesta espècie. El reclutament en aquest cas no sembla que jugués un efecte important.

Tots aquests detalls permeten constatar la diferent dinàmica de les dues espècies més comunes de garotes en els fons rocosos litorals. L'augment possible de les poblacions d'*Arbacia lixula* suscita la qüestió de si podrien afectar a les poblacions de *P. lividus*, ja que, si encara que no s'ha descrit que competeixin tròficament, si que ho podrien fer per l'espai que ocupen (refugis). El fet que els canvis més grans de densitat s'hagin produït a la zona protegida faria pensar que l'efecte reserva podria ser significatiu sobre les poblacions d'*A. lixula*; aquesta tendència no es podrà analitzar fins a tenir una sèrie més llarga o fins que es facin estudis experimentals.

Degut a que hi ha factors aliens a la depredació per part dels peixos (episodis de forts reclutaments, efecte dels refugis) que afecten significativament a les poblacions de garote creiem que una sèrie d'experiments que es duen a terme paral·lelament al seguiment del patrimoni natural de la Reserva Marina de les Illes Medes, i que tenen per objectiu determinar el paper que juguen altres fac-

tors com la rugositat o la cobertura algal en l'èxit del reclutament o en la depredació, poden aportar nous criteris per explicar de manera més concisa quin paper juguen aquests factors en les poblacions de garotes i més concretament com s'acoblen amb el procés de depredació.

BIBLIOGRAFIA

- Botsford, L., Castilla, J., Peterson, C. 1997. The managements of fisheries and marine ecosystems. *Science*, 277: 509-515.
- Dayton, P., Trush, F., Agardi, M., Hofman, R. 1995. Environmental effects of marine fishing. *Aquat. Conserv. Mar. Freshwat. Ecos.*, 5: 205-232.
- Frantzis, A., Berthon, J.F., & Maggiore, F. 1988. Relations trophiques entre les oursins *Arbacia lixula* et *Paracentrotus lividus* (Echinoidea Regularia) et le phytobenthos infralittoral superficiel dans la baie de Port-Cros (Var, France). *Sci. Rep. Port-Cros Nat. Park*, 14: 81-140.
- Francour, P., C.F. Boudouresque, J.G. Harmelin, M.L. Harmelin-Vivien & J.P. Quignard. 1994. Are the Mediterranean waters becoming warmer? Information from biological indicators. *Mar. Poll. Bull.* 28: 523-526
- Harmelin, J.G., Bouchon, C., & Hong, J.S. 1981. Impact de la pollution sur la distribution des échinodermes des substrats durs en Provence (Méditerranée nord-occidentale). *Téthys*, 10: 13-36.
- Harmelin, J.G., Bouchon, C., Duval, C., & Hong, J.S. 1980. Les échinodermes des substrats durs de l'île de Port-Cros, Parc National (Méditerranée Nord-Occidentale). Eléments pour un inventaire quantitatif. *Trav. Sci. Parc Nat. Port-Cros*, 25-38.
- Hay, M.E. 1991. Fish-seaweed interaction on coral reef: effect of herbivorous fishes and adaptations of their prey. In Sale P.F. (Ed.), *The Ecology of Fishes on Coral Reef*, pp. 96-119. San Diego, California, U.S.A: Academic Press.
- Kempf, M. 1962. Recherches d'écologie comparée sur *Paracentrotus lividus* (Lmk.) et *Arbacia lixula* (L.). *Rev. Trav. Stn. Mar. Endoume*, 25: 47-116.
- Lawrence, J.M. 1975. On the relationships between marine plants and sea urchins. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.*, 213-286.
- Le Direach, J-P, Charbonnel, E., & Marchadour, M. 1987. Le probleme de l'évaluation des stocks chez *Paracentrotus lividus* (Lmk): exemple d'une campagne de dénombrement autour de l'archipel du Frioul (Marseille, France). *Colloque international sur Paracentrotus lividus et les oursins comestibles*, C.F. Boudouresque edit., GIS Posidonie publ., Mar-

- seille, Fr., 199-220.
- Lozano, J., J. Galera, S. López, X. Turón, C. Palacín & G. Morera, 1995. Biological cycles and recruitment of *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) in two contrasting habitats. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 122: 179-191.
- Lubchenco, J., & Gaines, S.D. 1981. A unified approach to marine plant-herbivore interactions. I. Populations and communities. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 12: 405-437.
- McClanahan, T.R., & Shafir, S.H. 1990. Causes and consequences of sea urchin abundance and diversity in Kenyan coral reef lagoons. *Oecologia*, 83: 362-370.
- McClanahan, T.R., & Muthiga, N.A. 1989. Patterns of predation on a sea urchin, *Echinometra mathaei* (de Blainville), on Kenyan coral reefs. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 126: 77-94.
- McClanahan, T.R. & E. Sala. 1997. A Mediterranean rocky-bottom ecosystem fisheries model. *Ecol. Model.*, 104: 145-164.
- Paine, R.T. 1966. Food web complexity and species diversity. *Am. Nat.*, 100: 65-75.
- Sala, E. 1996. The role of fishes in the organization of a Mediterranean subtidal community. Univ. de la Méditerranée-Aix-en-Provence-Marseille II, France.
- Sala, E., & M. Zabala 1996. Fish predation and the structure of the sea urchin *Paracentrotus lividus* populations in the NW Mediterranean. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 140: 71-81.
- Schiel, D.R. & M.S. Foster. 1986. The structure of subtidal algal stands in temperate waters. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 24: 265-307
- Tegner, M.J., & Dayton, P.K. 1981. Population structure, recruitment and mortality of two sea urchins (*Strongylocentrotus franciscanus* and *S. purpuratus*) in a kelp forest near St. Diego, California. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 5: 255-268.
- Verlaque, M. 1987. Relations entre *Paracentrotus lividus* (Lamarck) et le phytobenthos de Méditerranée occidentale. In: C.F. Boudouresque, ed. *Colloque international sur Paracentrotus lividus et les oursins comestibles*. GIS Posidonie publ., Marseille, France, pp. 5-36
- Verlaque, M., & Nedelec, H. 1983. Biologie de *Paracentrotus lividus* (Lamarck) sur un substrat rocheux en Corse (Méditerranée, France): alimentation des adultes. *Vie Milieu*, 33: 191-201.
- Vukovic, A. 1982. Florofaunistic changes in the infralittoral zone after *Paracentrotus lividus* (L.) population exploitation. *Acta Adriat.*, 23: 237-241.
- Wootton, J.T., 1992 Indirect effects, prey susceptibility, and habitat selection: impacts of birds on limpets and algae. *Ecology*, 73(3): 981-991.
- Wootton, T.J., 1993. Indirect effects and habitat use in an intertidal community: interaction chains and interaction modifications. *Am. Nat.*, 141: 71-89.