

SEGUIMENT TEMPORAL DE LA GAROTA COMUNA

Paracentrotus lividus EN LES ILLES MEDES. EXERCICI 1995

Bernat HEREU, Cristina LINARES & 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 AMP 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 (McClanahan & Muthiga, 1989; McClanahan & Shafir, 1990; McClanahan & 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) és 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 la 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 te unes conseqüències molt nocives per les poblacions algals: la major part dels fons mediterrànics actuals mostren símptomes de sobrepastura amb comunitats empobrides per l'excessiva pressió herbívora de les garotes (Kempff, 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; McClanahan & Muthiga, 1989; McClanahan & 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 AMP 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 esciòfiles 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; Kempff, 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'interès afegit que es considera una espècie termòfila (Francour et al., 1994), i pot donar molt bona informació sobre possibles canvis a més gran escala.

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

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

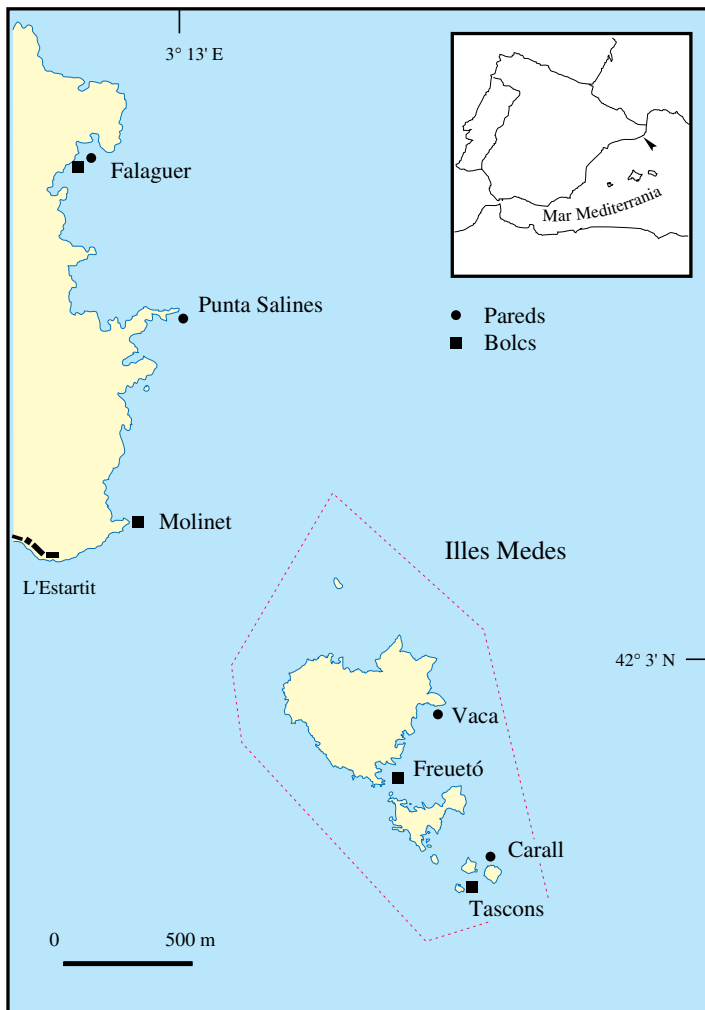


Figura 1. *Garota comuna* (*Paracentrotus lividus*). Segiment 2001. Localització dels transectes.

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 50 m², 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 precisió de ± 1 mm. En cada transecte es mesura 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 (AMP o no AMP), tal i com es mostren en la Taula 1. De cadascuna de les situacions s'han fet 3 transectes, donant 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 6 m, i varia entre 5-7 m. .

Taula 1. *Garota comuna* (*Paracentrotus lividus*). Segiment 2001. Situacions experimentals dins i fora la AMP.

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

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 2001

Els resultats obtinguts en 2001 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 desviació mitjana de les densitats i les talles de *P. lividus* per a cada estació i per a cada situació combinant la topografia i el grau de protecció. En la figura 2 es representa en forma d'histogrames les densitats de cada classe de talla dins i fora de l'àrea protegida de les Illes Medes per cada tipus de fons. En aquesta gràfica es pot apreciar, a més de la diferència en les densitats de dins i fora la AMP, sobretot en els fons de blocs, la diferent estructura de talles. Dins la AMP l'estructura de talles és bimodal, on els dos pics corresponen a les classes de talla petites dels reclutes i a les classes de talla grans acumulades, mentre que fora la AMP l'estruc-

tura de talles presenta una domini de les classes de talla petites.

Les diferències per efecte de la topografia es mostren superiors als fons de blocs pel que fa a les densitats ($F(1,461.8)=26,10$; $p<0,001$), mentre que les talles són significativament més petites a les parets verticals ($F(1,2316)=8.49$; $p<0,01$).

L'anàlisi comparatiu de les diferents estacions de dins i fora l'AMP mostren que les tendències que es varen trobar l'any passat es mantenen, ja que trobem un cop més que les densitats en els fons de blocs de fora la AMP són significativament superiors als de dins la zona protegida, però no passa així amb les parets verticals ($F(1,86.4)=4,11$; $p<0,05$ i $F(1,30.78) = 2,38$; $p=0,12$ 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 de forts episodis de reclutament en les zones d'estudi. Aquest aport de reclutes es fa palès en l'anàlisi comparatiu de les talles, ja que les talles de les zones de blocs de fora la AMP són significativament inferiors a les de dins la AMP ($F(1,151.12)=57.23$; ; $p<0.01$), Taula 2)

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

Taula 2. Garota comuna (Paracentrotus lividus). Seguiment 2001. Densitats (Ind/m²) 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 Montgrí durant l'any 2001 i en les diferents situacions combinant efecte de la protecció i el tipus de fons.

	DENSITAT		DIÀMETRE	
	Xn	STD	Xn	STD
AMP				
C.Bernat	0.29	0.79	3.15	1.82
Tascons	9.17	4.54	3.47	1.78
Vaca	4.46	2.92	2.66	1.84
Freuetó	2.45	2.42	3.36	1.91
COSTA AMP				
Punta Salines	3.75	4.66	3.23	1.64
Molinet	7.27	4.52	2.71	1.46
NO AMP				
Falaguer paret	3.87	3.63	3.26	1.61
Falaguer blocs	9.16	3.97	3.27	1.30
AMP blocs	5.81	4.95	3.45	1.81
No AMP blocs	8.21	4.19	2.91	1.43
AMP parets	2.38	2.99	2.70	1.65
No AMP Parets	3.81	4.11	3.25	1.62

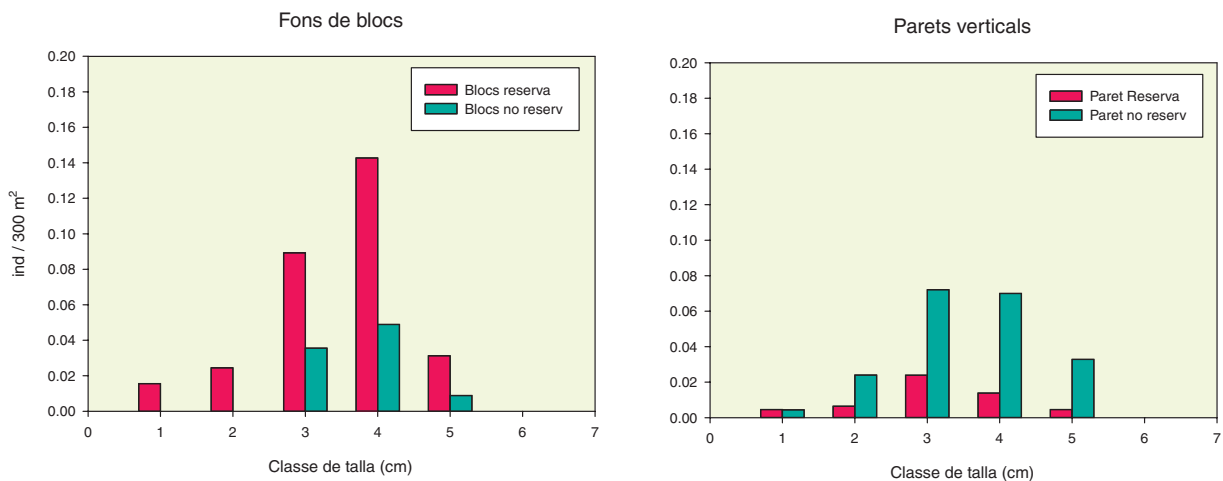


Figura 2. *Garota comunis* (*Paracentrotus lividus*). Seguiment 2001. Estructura de talles per a cada tipus de fons; a) Medes; b) Costa del Montgri.

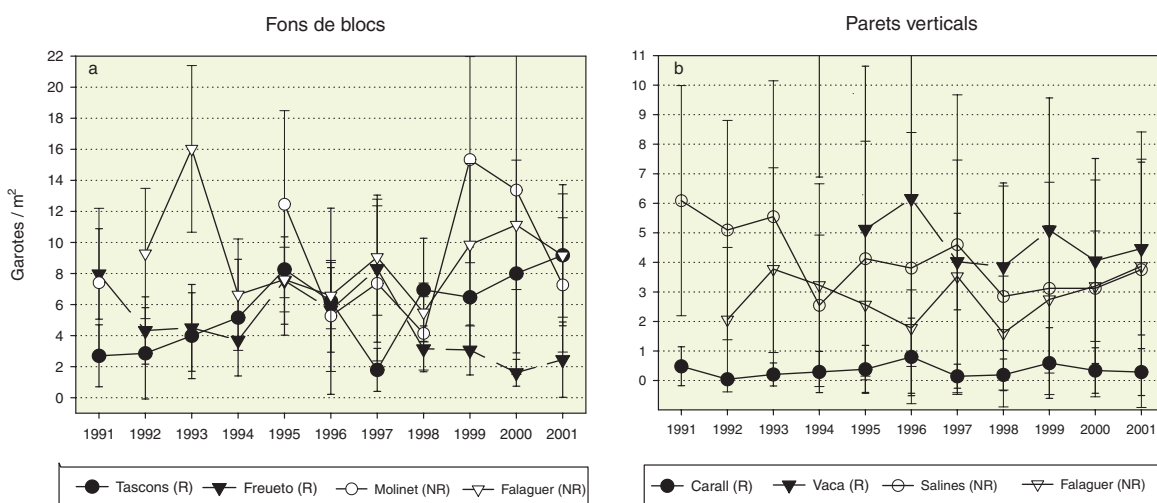


Figura 3. *Garota comunis* (*Paracentrotus lividus*). Seguiment 1991-2001. Evolució de les densitats (Ind/m^2) al llarg dels anys de seguiment en les diferents situacions experimentals estudiades; a) fons de blocs, b) parets verticals. Signes plens: Medes; Signes buits: costa del Montgri.

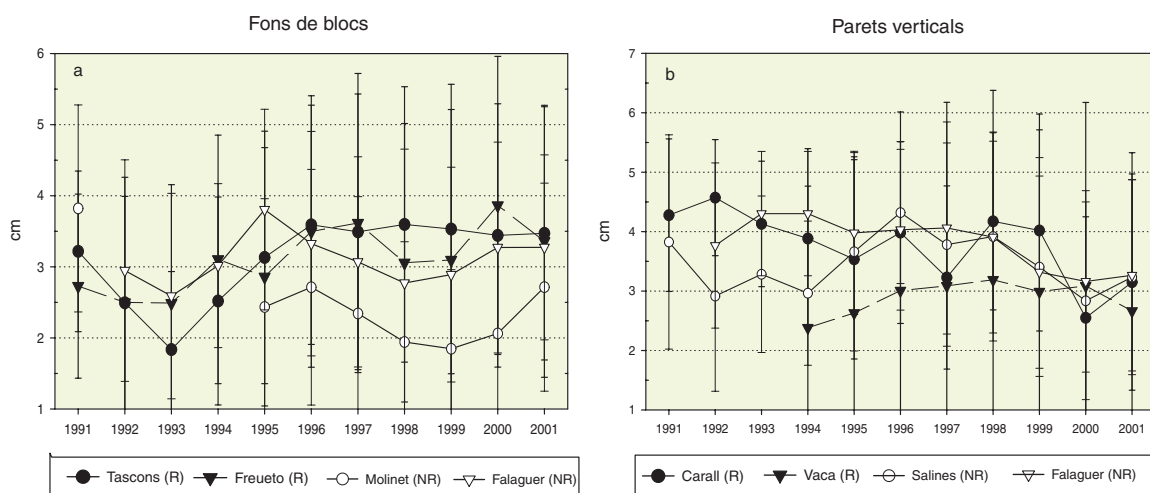


Figura 4. *Garota comunis* (*Paracentrotus lividus*). Seguiment 1991-2001. Evolució de les talles mitges (cm. diàmetre) al llarg dels anys de seguiment en les diferents situacions experimentals estudiades; a) fons de blocs, b) parets verticals. Signes plens: Medes; Signes buits: costa del Montgri.

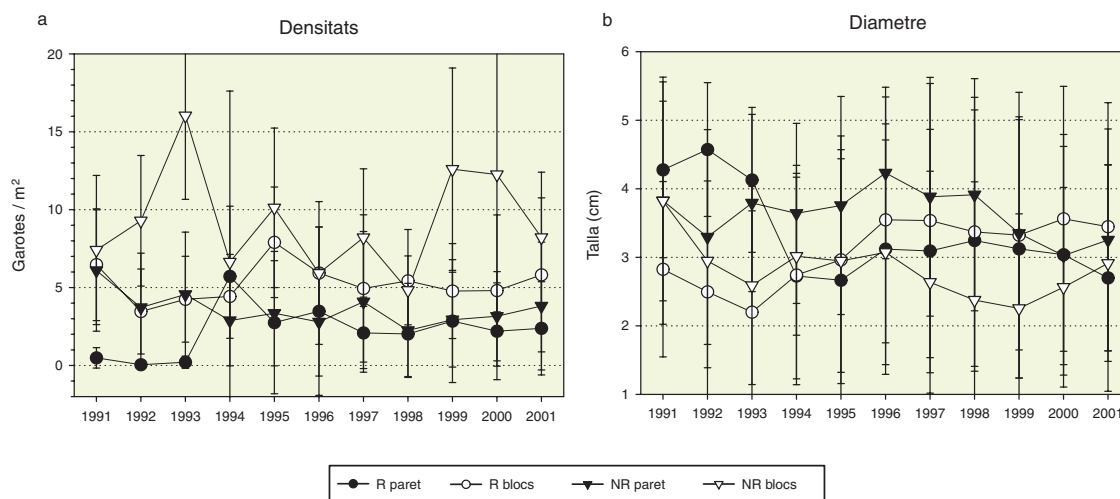


Figura 5. Garota comuna (*Paracentrotus lividus*). Seguiment 1991-2001. Evolució de les densitats i talles mitges (cm. diàmetre) al llarg dels anys de seguiment en les diferents situacions experimentals estudiades. Signes plens: Medes; Signes buits: costa del Montgrí.

durant els anys de seguiment, i la Figura 5 mostra l'evolució de les densitats i talles de cada situació experimental. La Figura 6 mostra en forma d'histogrames la freqüència relativa de les diferents talles de cada estació durant tots els anys de seguiment.

En l'anàlisi de l'evolució temporal de les densitats de les diferents situacions experimentals veiem que les diferències que es varen observar els primers anys del seguiment en les densitats entre la zona de AMP i fora de la AMP a partir de 1994 tenen una tendència disminuir. Però a l'any 1999 es va poder observar un episodi de fort reclutament i les diferències entre la zona protegida i no protegida varen tornar a ser importants en els fons de blocs. Aquesta diferència es va mantenir a l'any 2000, però enguany ha disminuït fins unes densitats semblants a les dels anys anteriors. Les densitats dels anys 1999 i 2000 formen un pic en les densitats de les poblacions de fora la reserva, molt semblant a l'observat el 1993. En contraposició a aquestes dents de serra que presenten les poblacions de garotes de fora de la reserva, dins l'àrea protegida les tendències són molt regulars.

Arbacia lixula

Estat de les poblacions en 2001

La Taula 3 mostra els valors de les densitats i els diàmetres mitjos trobats als transectes realitzats el 2001 en cada estació i en cada situació experimental. En la Figura 7 es representa en forma d'histogrames les densitats de cada tipus de fons (blocs i paret a dins i fora de l'AMP).

Les diferències de densitat entre els fons de

blocs i les parets verticals de *A. lixula* semblen seguir el mateix patró de *P. lividus*, ja que en els fons de blocs les densitats són més elevades ($F(1,2.16) = 24.08$; $p < 0,01$): En canvi, aquest any hi ha hagut una forta disminució de les talles mitges en les parets verticals de forma que no trobem les diferències dels altres anys ($F(1,0.002) = 0.002$; $p < 0,98$).

L'estudi comparat entre les poblacions de la costa del Montgrí i les Illes Medes mostren un any més que les densitats i talles de *A. lixula* mostren molt poca variació respecte a les diferents situacions experimentals testades. L'anàlisi estadístic de densitats i talles tant de les poblacions dels fons de blocs ($F(1,0.301) = 2.17$; $p = 0,14$) i ($F(1,0.009) = 0.009$; $p = 0,92$) com les de les parets verticals ($F(1,0.0042) = 1.09$; $p = 0,300$), excepte per les talles, ja que les garotes de les parets de la reserva tenen una talla mitja inferior ($F(1,5.30) = 8.23$; $p < 0,01$) no mostren diferències estadísticament significatives.

Evolució de les poblacions al llarg dels anys de seguiment.

Les Figures 8 i 9 mostren respectivament l'evolució de les densitats i de les talles mitges de *A. lixula* a cada estació durant els anys de seguiment, i la Figura 10 les diferents situacions experimentals tractades. La Figura 11 mostra en forma d'histogrames l'evolució de la freqüència relativa de les diferents talles a cada estació, durant tots els anys de seguiment.

Malgrat l'estabilitat que ha mostrat la sèrie durant tots els anys de seguiment, tant en les

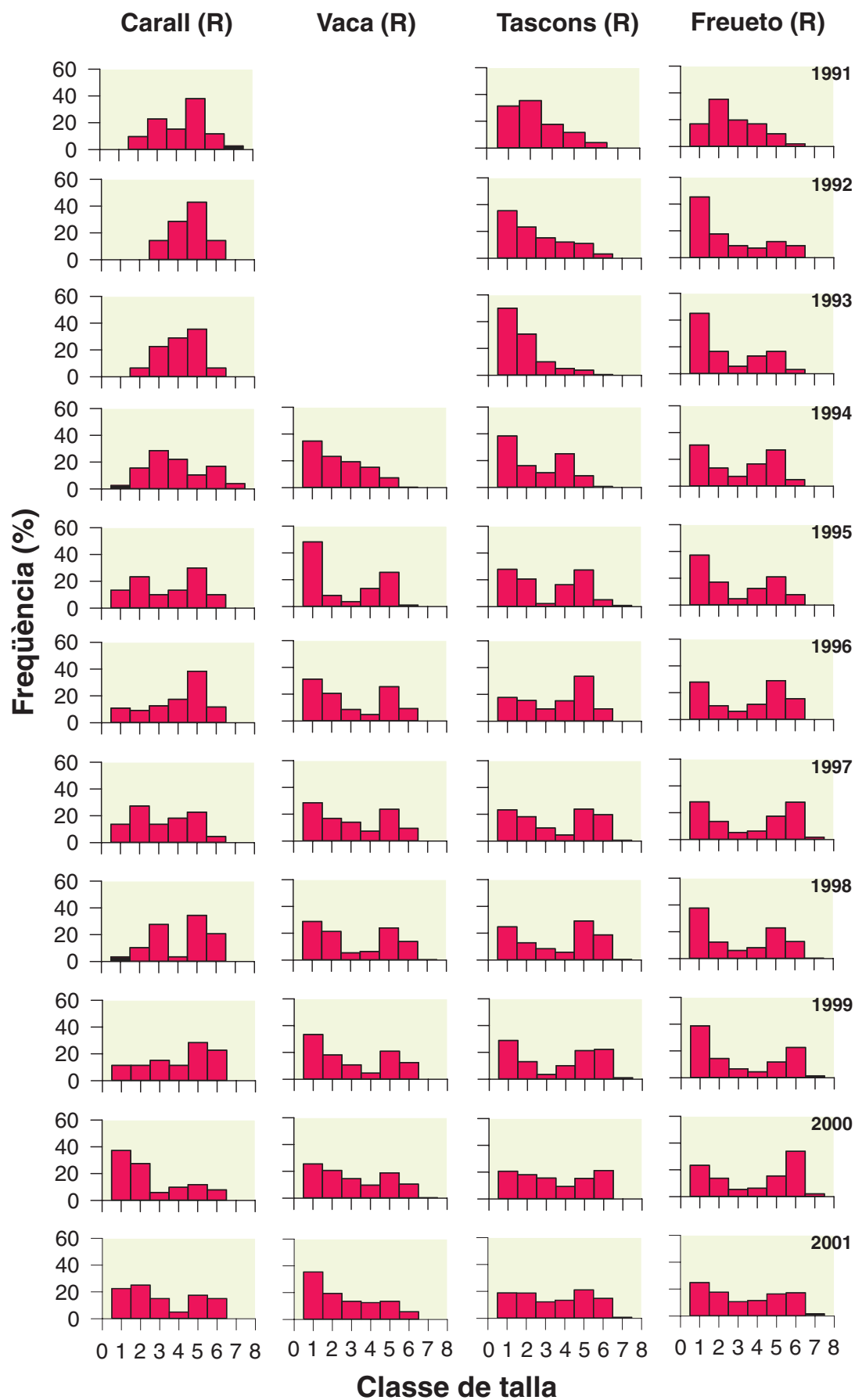


Figura 6. Garota comuna (*Paracentrotus lividus*). Seguiment 1991-2001. Histogrames de les classes de talla de cada estació al llarg de tots els anys de seguiment.

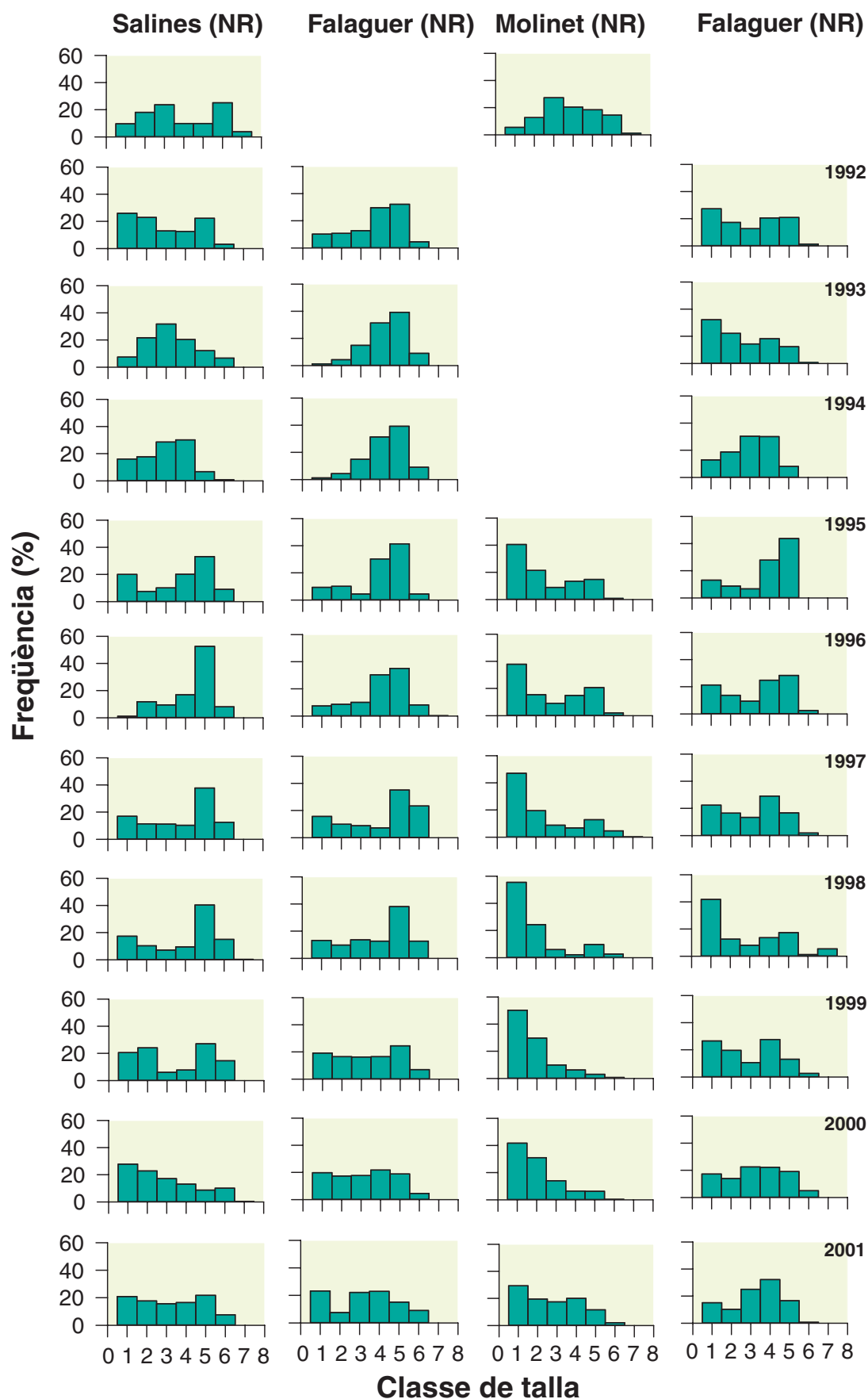


Figura 6 (Cont.). Garota comuna (*Paracentrotus lividus*). Seguiment 1991-2001. Histogrames de les classes de talla de cada estació al llarg de tots els anys de seguiment.

Taula 3. Garota negra (*Arbacia lixula*). Seguiment 2001. 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 2001.

	DENSITAT		DIÀMETRE	
	Xn	STD	Xn	STD
AMP				
C.Bernat	0.05	0.09	3.57	1.27
Tascons	0.25	0.21	3.76	1.07
Vaca	0.11	0.17	2.94	0.90
Freuetó	0.36	0.42	3.32	0.86
COSTA AMP				
Punta Salines	0.06	0.10	4	0.5
Molinet	0.52	0.47	3.32	1.07
NO AMP				
Falaguer paret	0.39	0.34	3.63	0.65
Falaguer blocs	0.22	0.31	3.72	0.74
AMP blocs	0.31	0.33	3.51	0.97
No AMP blocs	0.45	0.41	3.49	0.97
AMP parets	0.09	0.14	3.13	1.03
No AMP Parets	0.14	0.24	3.71	0.64

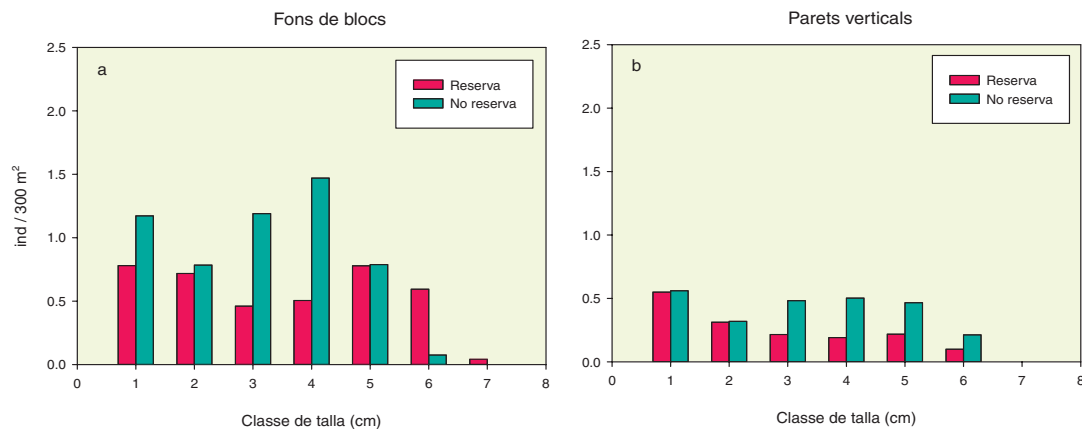


Figura 7. Garota negra (*Arbacia lixula*). Seguiment 2001. Estructura de talles per cada tipus de fons; a) Medes; b) Costa del Montgrí.

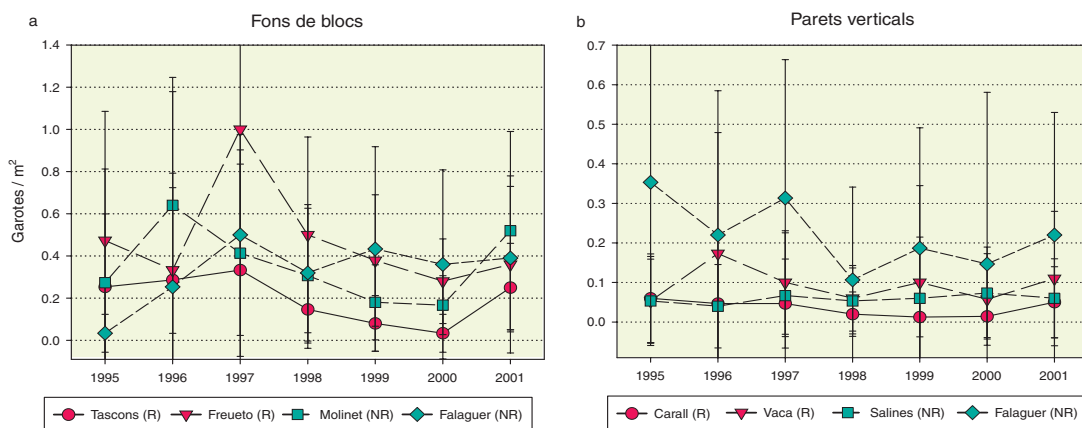


Figura 8. Garota negra (*Arbacia lixula*). Seguiment 1995-2001. Evolució de les densitats (Ind/m^2) al llarg dels anys de seguiment en les diferents situacions experimentals estudiades; a) fons de blocs, b) parets verticals. Signes vermells: Medes; Signes verds: costa del Montgrí.

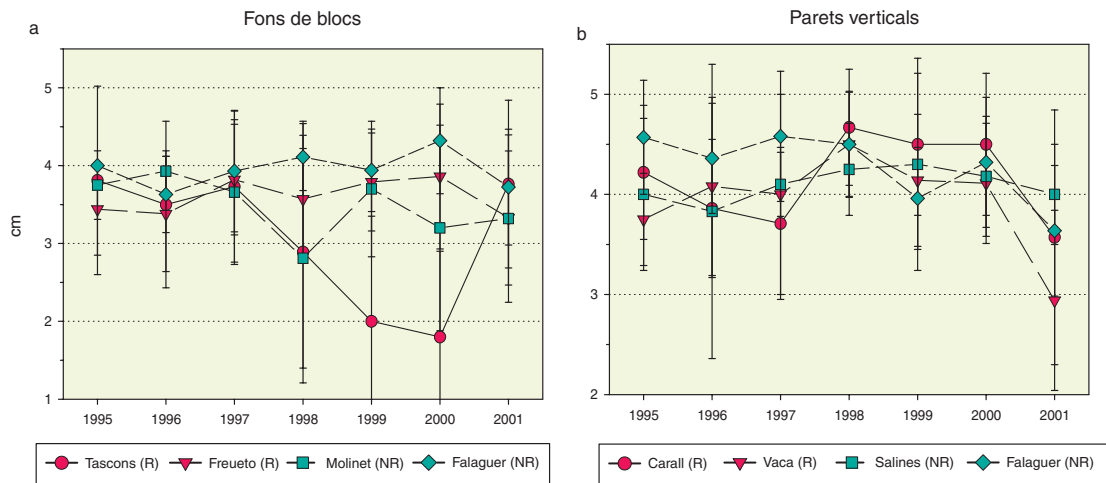


Figura 9. *Garota negra* (*Arbacia lixula*). Seguiment 1995-2001. Evolució de les talles mitges (cm. diàmetre) al llarg dels anys de seguiment en les diferents situacions experimentals estudiades; a) fons de blocs, b) parets verticals. Signes vermells: Medes; Signes verds: costa del Montgri.

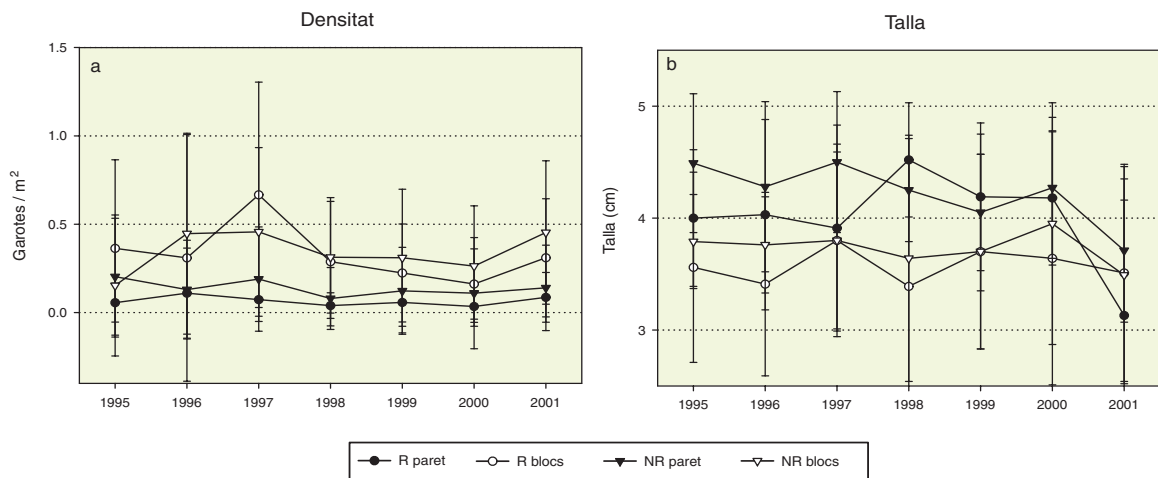


Figura 10. *Garota negra* (*Arbacia lixula*). Seguiment 1995-2001. Evolució de les densitats i talles mitges (cm. diàmetre) al llarg dels anys de seguiment en les diferents situacions experimentals estudiades.

densitats com en la talla mitja de les poblacions, aquest any sembla que hi ha hagut un canvi en les poblacions de *A. lixula*. Per una part, les densitats han augmentat, i les talles han disminuït. Aquesta combinació dels dos factors ens fa pensar que hi ha hagut una entrada de reclutes a la població. Si mirem els histogrames de freqüències de talla, veiem que hi ha hagut un augment de talles més petites que els anys precedents.

DISCUSSIÓ I CONCLUSIONS

Els models existents sobre les relacions entre peixos, garotes i algues (Mc Clanahan & Muthiga, 1989; Mc Clanahan & Shafir, 1990; Mc Cla-

nahan & Sala, 1997) prediuen que mitjançant els efectes en cascada, les conseqüències de la pesca o de la protecció de una AMP es poden transmetre a través dels nivells tròfics inferiors fins a les comunitats algals. Segons els models, caldria esperar que a les Illes Medes, una AMP on la pesca és prohibida i la densitat de peixos és molt elevada les densitats de garotes siguin molt baixes degut a la pressió de depredació dels peixos. Aquest efecte de la depredació provocaria també que la talla mitjana de les poblacions de garotes de fora la AMP (on el principal depredador és l'home que selecciona les de talles més grans) sigui més petita que dins la AMP (on els depredadors són els peixos), ja que la depredació per peixos està focalitzada sobretot en les mides inferiors. La discussió següent es centra en analitzar

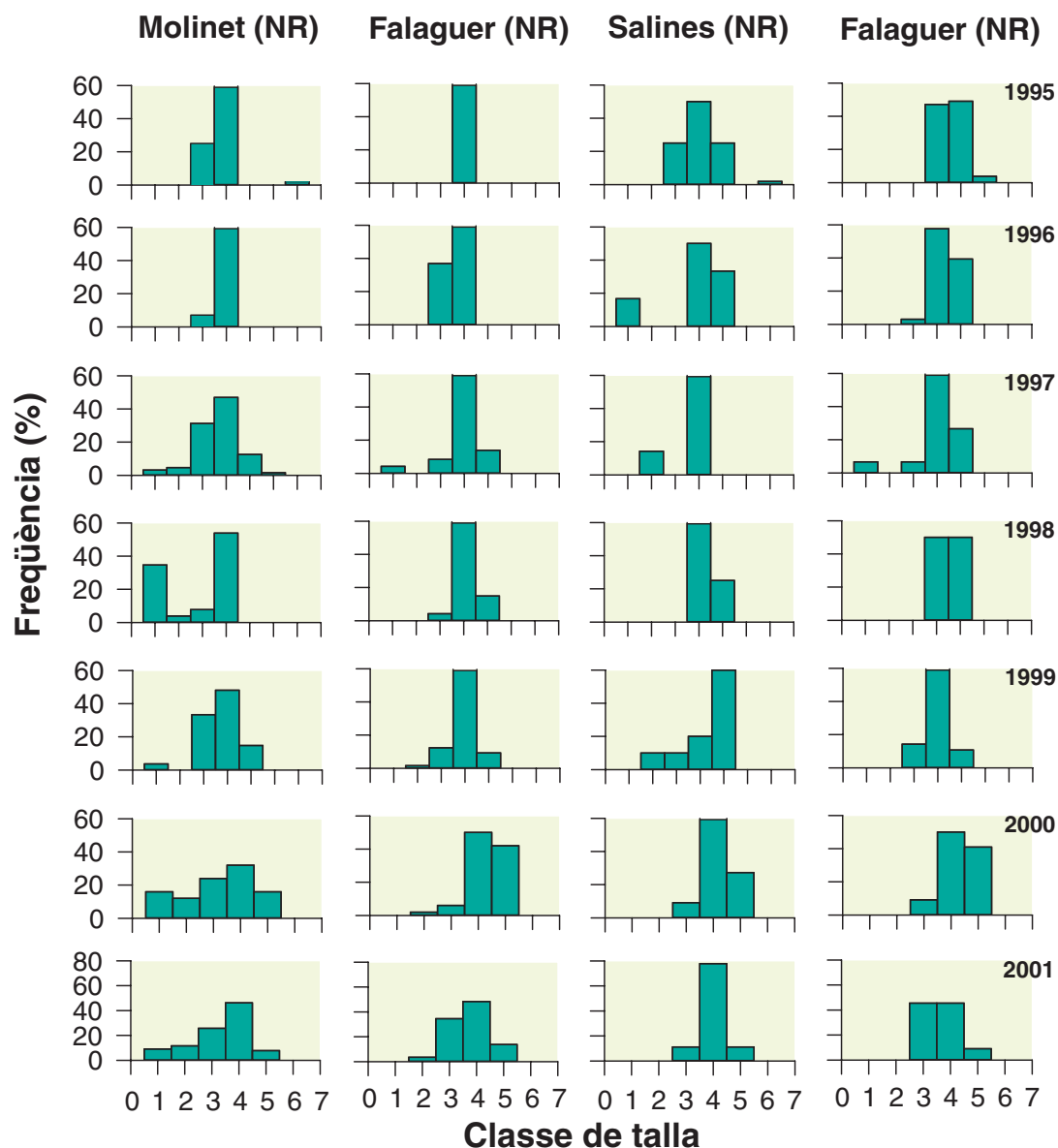


Figura 11. Garota negra (*Arbacia lixula*). Seguiment 1995-2001). Histogrames de les classes de talla de cada estació al llarg de tots els anys de seguiment.

el grau d'acompliment d'aquestes prediccions a la llum dels nostres resultats.

Paracentrotus lividus

Anàlisi dels resultats de l'any 2001

Els resultats d'enguany semblen recolzar un any més les prediccions de les hipòtesis derivades dels models: les densitats són menors i la talla mitjana és més gran dins que fora de la AMP. Si analitzem l'estructura de talles de les dues poblacions, veiem que aquestes diferències en la densitat i en la talla mitjana són degudes principalment a les abundàncies de les classes de talla petita. Dins la AMP trobem una distribució bimodal

on un pic correspon als reclutes (fins a 2 cm), i un altre pic correspon a les classes de talla més grans (més de 3 cm), en les que es van acumulant de diferents edats degut a un retard gradual del ritme de creixement d'aquesta espècie amb l'edat. Pel contrari, fora de la AMP la distribució de talles s'adapta a una funció exponencial decreixent, ja que les classes de talla petites dominen de tal forma l'estructura de la població que no s'observa cap segon pic de les classes de talla gran. Així, és possiblement el gran nombre de reclutes el que fa augmentar la densitat i alhora disminuir la talla mitjana de les poblacions de fora de la AMP respecte a les de la AMP.

Un altre patró que es mostra molt constant tant a dins com a fora de la AMP és la diferència

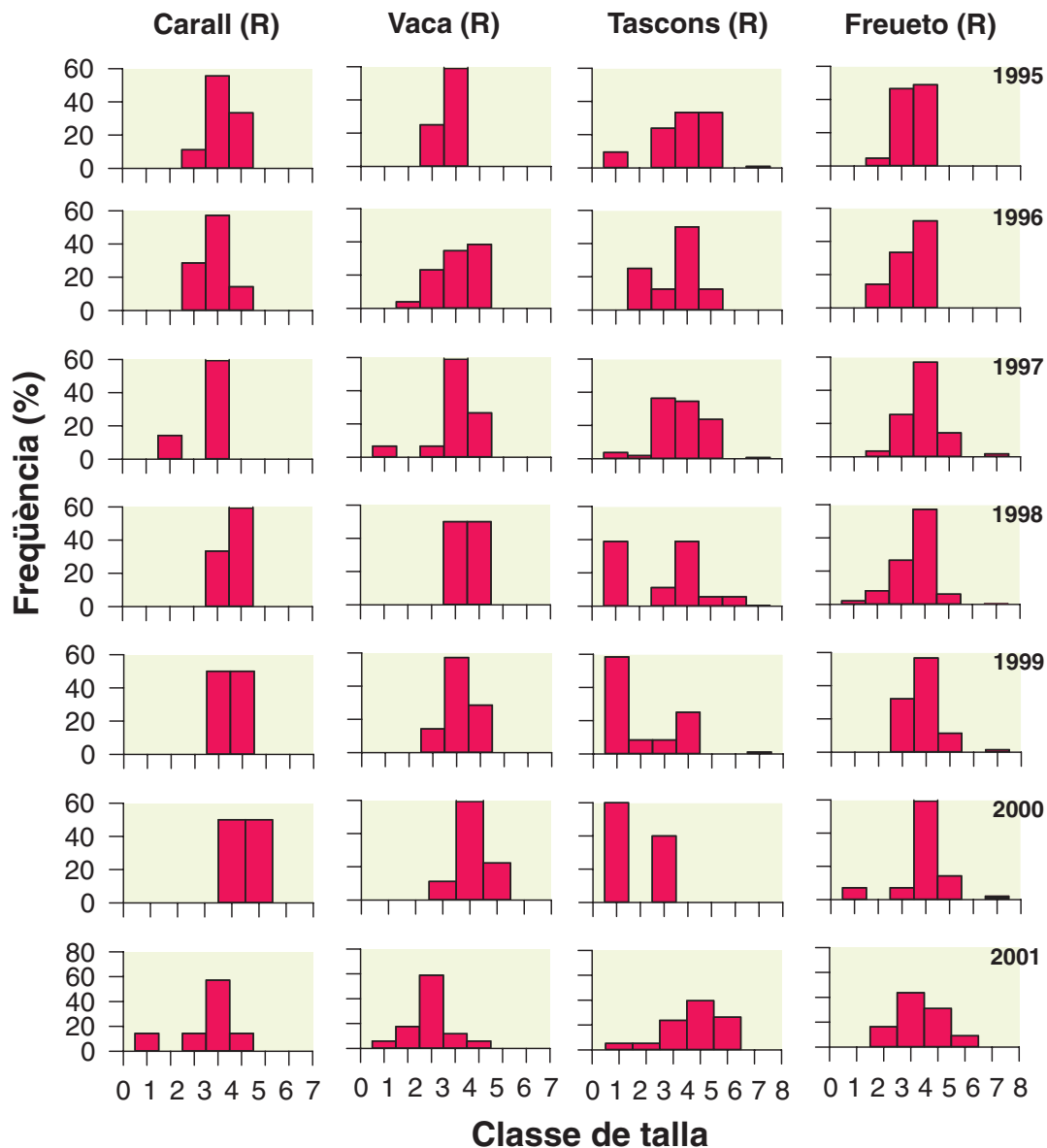


Figura 11 (Cont.). Garota negra (*Arbacia lixula*). Seguiment 1995-2001). Histogrames de les classes de talla de cada estació al llarg de tots els anys de seguiment.

d'estructura de les poblacions de garotes en funció de la topografia del fons, i en concret les diferències en la densitat i talles mitjanes entre els fons de blocs i les parets verticals. En els fons de blocs, les densitats són majors i les talles menors que en els fons de paret. Tanmateix, tot i aquestes diferències degudes a la topografia, les diferències entre les poblacions de dintre i fora de la AMP anteriorment comentades es mantenen en cada tipus de fons.

Anàlisi de la sèrie temporal (1991-2001)

L'únic factor que sembla establir una pauta persistent en el comportament temporal de les garotes és la topografia. La diferència entre els

fons de blocs (densitat elevada, talla mitjana petita) i les parets verticals (densitat menor, talla mitjana més gran) no ha variat cap any, mostrant així una forta estabilitat.

En contrast, i discrepant també de la congruència dels resultats de l'últim any amb les prediccions teòriques, la imatge que ens proporciona tota la sèrie temporal sobre el paper jugat per les mesures de protecció (contrast AMP- no AMP) és molt més confusa, principalment per la seva forta variabilitat. Així, durant els primers anys de control (1991-93) es varen constatar, tant en els fons de blocs com a les parets verticals, unes diferències en les poblacions de garotes de dins i de fora de la AMP congruents amb les hipòtesis resultants dels models. Aquestes

diferències varen disminuir fins a fer-se imperceptibles, o fins i tot a invertir el seu signe, durant la sèrie d'anys del 1994 al 1998 (val a dir que una de les raons d'aquesta disminució a les parets verticals va ser la incorporació en 1994 d'una nova estació dins la AMP - la Vaca - ocupada per una població especialment densa). De nou a partir de 1999, any en que es detecta un període de fort reclutament fora de la AMP, aquestes diferències es tornen a fer importants, retornant a la pauta dels primers anys del seguiment, quan les densitats eren menors i les talles més grans a dins la AMP (sobretot en els fons de blocs). Enguany les densitats dels fons de blocs de fora de la reserva tornen als valors anteriors a 1999, pel que sembla tancar un altre episodi, o dent de serra en la sèrie temporal de les densitats de fora la reserva. Cal contrastar aquestes fortes variacions de fora la reserva amb la relativa estabilitat de dins les Illes Medes.

Quina pot ser l'explicació d'aquesta variabilitat en la densitat i estructura de talles de les poblacions de garotes? Descartada l'existència de grans desplaçaments migratoris (encara que preliminars, el resultat d'alguns experiments paral·lels ens indueix a pensar que els desplaçaments són poc importants), sembla que són les variacions en el reclutament les que tenen un pes molt important en la variabilitat: tots els canvis que s'han produït en les poblacions de garotes al llarg dels anys han estat continuació de fortes entrades de reclutes. En la mesura en que aquesta sèrie permeti afirmar-ho, sembla que la probabilitat de rebre episodis de fort assentament de reclutes és igual dins i fora de la AMP. Tanmateix observem diferències en l'efecte produït: fora de la AMP, els canvis provocats per arribades de reclutes són molt marcats; en canvi, dins la AMP aquests pics deguts al reclutament resulten més modulats. Sembla que dins la AMP el pic de talles petites que seguiria a un any de bon reclutament es veu regulat per la pressió de depredació dels peixos; mentre que, gràcies a haver assolit l'anomenada talla refugi (xifrada en un diàmetre d'uns 3cm; Sala & Zabala, 96), la depredació és molt menor sobre les classes de talla grans que es van acumulant i contribuint al patró bimodal característic. De confirmar-se, aquesta diferència semblaria suggerir que, si bé la més gran biomassa de peixos de la AMP no pot contrarestar totalment els efectes desestabilitzadors de les arribades massives de larves, si produeix un cert efecte regulador en suavitzar les oscil·lacions que se'n deriven.

Arbacia lixula

L'anàlisi del comportament temporal de les poblacions de la garota negra *A. lixula* es presenta molt més resumit, en la mesura que mostra moltes similituds amb els patrons exhibits per *P. lividus*. Així, en els fons de blocs les densitats són més elevades i les talles menors que en les parets verticals.

Tanmateix també veiem diferències importants. Per una part, les densitats són molt més baixes (d'un ordre de magnitud inferior), fet que provoca que petites variacions tant en densitat com en talles tinguin més pes relatiu. D'altra banda, i malgrat l'observació precedent, les poblacions de *A. lixula* de les Illes Medes han mostrat durant aquests 10 anys més regularitat que les de *P. lividus*. Si fins l'any 1997 semblava que havia una tendència a l'augment de les poblacions, a partir de l'any 1998 les densitats tornen als valors inicials i es mantenen.

No obstant, aquest any hem pogut observar un canvi degut a l'augment de les densitats i a la disminució de les talles, cosa que fa pensar en un episodi de reclutament. Tot i aquests resultats cal tenir prudència en descriure tendències, ja que tot fa pensar que aquesta espècie té un comportament més caòtic que *P. lividus*, ja que no recluta cada any i, ho fa, el reclutament és molt menys important que en *P. lividus*. A més, pot haver un problema de en l'estima de la població, ja que les baixes densitats que tenen poden provocar que no mesurem una mostra suficientment representativa de tota la població.

Tots aquest factors fan que aquestes dades no siguin del tot interpretables i caldrà, al menys, esperar als propers anys per a veure si aquest petit augment en les poblacions de *A. lixula* continua, o si queda com un pic discret i les poblacions evolucionen en unes densitats estables com fins al moment.

Validesa del model de Mc Clanahan & Sala

Després de deu anys de seguiment d'unes poblacions de garotes exposades a la que sense dubte és la més elevada biomassa (per densitat i per talla) de peixos depredadors que pugui imaginar-se a la Mediterrània (Garcia-Rubies & Zabala, 1990), sembla demostrat de forma indiscutible que la recuperació de les poblacions de peixos dins les AMP no pot revertir les condicions de elevada densitat de garotes que conduïren a les situacions de sobrepastura de les pobla-

cions algals, un cop aquestes s'han establert . Com es tracta d'una de les prediccions de més pes del model de Mc Clanahan & Sala (1997) i constitueix una peça clau de les expectatives posades en les AMP com eines de gestió del litoral, una conclusió negativa dels nostres resultats podria amagar una gran rellevància.

Vol això dir que la incongruència entre els nostres resultats i les prediccions ens obliga a rebutjar el model com incorrecte, o existeixen explicacions que permetin salvar la seva validesa?

Si bé es cert que hi ha certa desconexió entre les prediccions del model i els resultats que hem anat obtenint pel que fa a les interaccions entre pressió de pesca, peixos i garotes, podem explicar aquesta desconexió si acceptem que existeixen alguns factors claus per la dinàmica demogràfica de les poblacions de garotes, que no han estat considerats en el model. Per una part, veiem el paper fonamental que juga el reclutament. Degut a factors que escapen al nostre control, i que probablement resultaran confosos molt de temps per dependre dels "atzars" de la fase planctònica, el reclutament és molt variable tant en el temps com en l'espai. El resultat és que en un any determinat i un lloc concret pot haver una arribada massiva de reclutes que canviï completament l'estructura de la població d'aquell indret.

Però a més de les diferències en el reclutament veiem que la disponibilitat de refugis pot afectar dràsticament l'eficàcia reguladora de la depredació. L'evidència indirecta més clara del que diem la podem trobar en l'efecte de la topografia sobre l'estructura de les poblacions estudiades. L'única explicació plausible a les diferències observades és que en fons de blocs heterogenis, amb molta disponibilitat de refugis on es puguin refugiar dels seus depredadors, la mortalitat de les garotes per depredació sigui molt inferior que a les parets verticals desproveïdes de refugis.

Si ajuntem aquests dos factors (reclutament + refugis) podem observar com, si es dona l'eventualitat d'un període de fort reclutament sobre un fons amb blocs (un cas exemplar seria l'estació dels Tascons), tota l'elevada densitat de peixos de gran talla de la AMP no podrà controlar l'explosió demogràfica de les poblacions de garotes que se'n seguiria.

Hi ha, a més, un efecte d'escales que ajudaria a explicar el no acompliment de les prediccions del model a la AMP de les Illes Medes malgrat la seva possible correcció conceptual. Tota la AMP no engloba més que unes poques hectàrees envoltades de molts quilòmetres quadrats de fons

rocosos ocupats per denses poblacions de garotes. Atesa la llarga vida planctònica de les larves de garotes (Escoubert, 1977) i la capacitat de dispersió passiva que els corrents costaners fan possible, resulta inevitable considerar la població de les Illes Medes com una part molt petita d'una meta-població que manté un activíssim flux d'intercanvi demogràfic. Des d'aquesta perspectiva, encara que els peixos fossin capaços de deprimir poderosament els efectius de la sub-població reproductora de la AMP, mai arribarien a introduir un efecte regulador sobre el reclutament, que seguiria nodrint-se de les sub-poblacions externes i, per tant, independent de les vicissituds de la primera. En resum, no sembla descabellat afirmar que si mai fos factible testar-ho amb un experiment realitzat a l'escala espacial i temporal adequades, el model demostres no només la seva correcció conceptual sinó també la seva capacitat predictiva (*).

BIBLIOGRAFIA

- Botsford, L., J. Castilla, C. Peterson, 1997. The managements of fisheries and marine ecosystems. *Science*, 277: 509-515.
- Dayton, P., F. Trush, M. Agardi, R. Hofman, 1995. Environmental effects of marine fishing. *Aquat. Conserv. Mar. Freshwat. Ecos.*, 5: 205-232.
- Escoubert, P. 1977. Effets d'une bêche sur des chaînes alimentaires courtes: *Dunaliella-Venerupis*; *Dunaliella-Paracentrotus*. *Ann. Inst. Michel Pancha*, 10: 1-8.
- Frantzis, A., J.F. Berthon, F. Maggiore, 1988. Relations trophiques entre les oursins *Arbacia lixula* et *Paracentrotus lividus* (Echinoidea Regularia) et le phytobenthos infralittoral superficiel dans la baie

(*) El problema és que aquest experiment és ara per ara irrealitzable. D'una banda exigiria que la AMP abastés tota la superfície coberta per la meta-població de garotes, es a dir, una de totalment aïllada de les poblacions veïnes. Aquest aïllament només podria aconseguir-se gràcies a una distància superior a la que poden recórrer les larves durant el període de dispersió planctònica (possiblement entre molts centenars i milers de quilòmetres) o per trobar-se a contracorrent de les fonts de larves. A més, les condicions experimentals haurien de perllongar-se per un període de temps suficient per garantir la recuperació de les poblacions de peixos i el resultat de les interaccions(probablement desenes d'anys). A hores d'ara l'únic emplaçament que s'acostaria a aquests requisits d'aïllament seria alguna petita illa del Mediterrani Central (p.e. els arxipèlags volcànics que volten l'illa de Sicília); però en aquestes illes no s'acompleix la condició de protecció de una AMP o no sobre tota la seva superfície.

- 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., C. Bouchon, J.S. Hong, 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., C. Bouchon, C. Duval, J.S. Hong, 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.
- García-Rubies, A., M. Zabala, 1990. Effects of total fishing prohibition on the rocky fish assemblages of Medes Islands marine reserve (NW Mediterranean). *Sci Mar.*, 54 : 317-328.
- Lawrence, J.M. 1975. On the relationships between marine plants and sea urchins. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev*, 213-286.
- Le Direach, J-P, E. Charbonnel, M. Marchadour, 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., Marseille, 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., S.D. Gaines, 1981. A unified approach to marine plant-herbivore interactions. I. Populations and communities. *Annu Rev Ecol Syst*, 12, 405-437.
- McClanahan, T.R., S.H. Shafir 1990. Causes and consequences of sea urchin abundance and diversity in Kenyan coral reef lagoons. *Oecologia*, 83, 362-370.
- McClanahan, T.R., N.A. Muthiga 1989. Patterns of predation on a sea urchin, *Echinometra mathaei* (de Blainville), on Kenyan coral reefs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 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. *Marine Ecology Progress Series*, 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., P.K. Dayton, 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., H. Nedelec, 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.