

SEGUIMENT TEMPORAL DE LA GAROTA COMUNA *Paracentrotus lividus* EN LES ILLES MEDES. EXERCICI 2002.

David DÍAZ, Bernat HEREU, Cristina LINARES 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 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) 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 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 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'excessiva pressió herbívora 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; McClanahan & Muthiga, 1989; McClanahan & Shafir, 1990; Sala & Zabala, 1996).

Per setè 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 descriptor 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; 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'interès 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 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

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 precisió de ±1mm. 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.

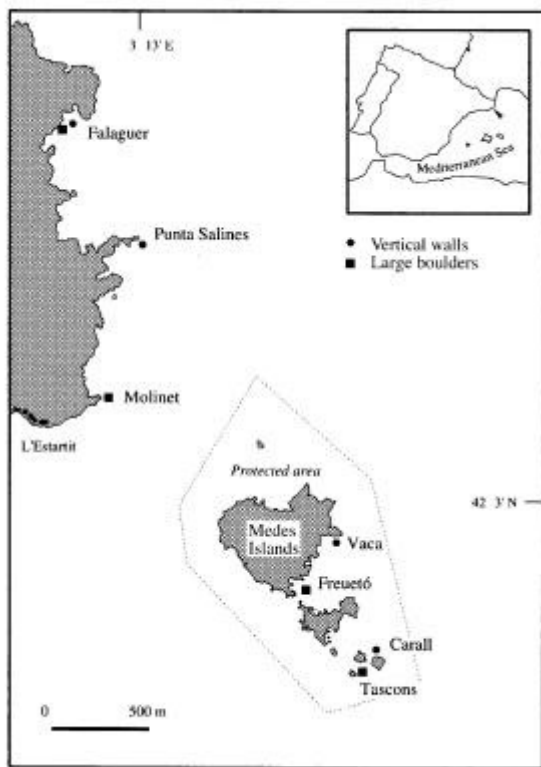


Figura 1. *Garota comuna* (*Paracentrotus lividus*). Segiment 2002. Localització dels transectes.

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 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.

Taula 1. *Garota comuna* (*Paracentrotus lividus*). Segiment 2002. 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

RESULTATS

Paracentrotus lividus

Estat de les poblacions el 2002

Els resultats obtinguts en 2002 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.

Taula 2. Garota comuna (*Paracentrotus lividus*). Segiment 2002. 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 1998 i en les diferents situacions combinant efecte de la protecció i el tipus de fons.

	DENSITAT		DIÀMETRE	
	Xn	STD	Xn	STD
AMP				
C.Bernat	0,45	1,31	3,30	1,72
Tascons	5,27	4,65	3,13	1,76
Vaca	5,67	4,03	3,18	1,69
Freuetó	1,07	0,78	3,66	1,93
COSTA AMP				
Punta Salines	4,35	5,83	3,02	1,61
Molinet	3,37	2,53	2,17	1,52
NO AMP				
Falaguer paret	2,98	2,75	3,57	1,60
Falaguer blocs	6,24	4,06	3,47	1,22
AMP blocs	3,06	3,96	3,19	1,69
No AMP blocs	3,17	3,91	3,26	1,81
AMP parets	3,67	4,53	3,38	1,62
No AMP Parets	4,81	3,63	2,96	1,49

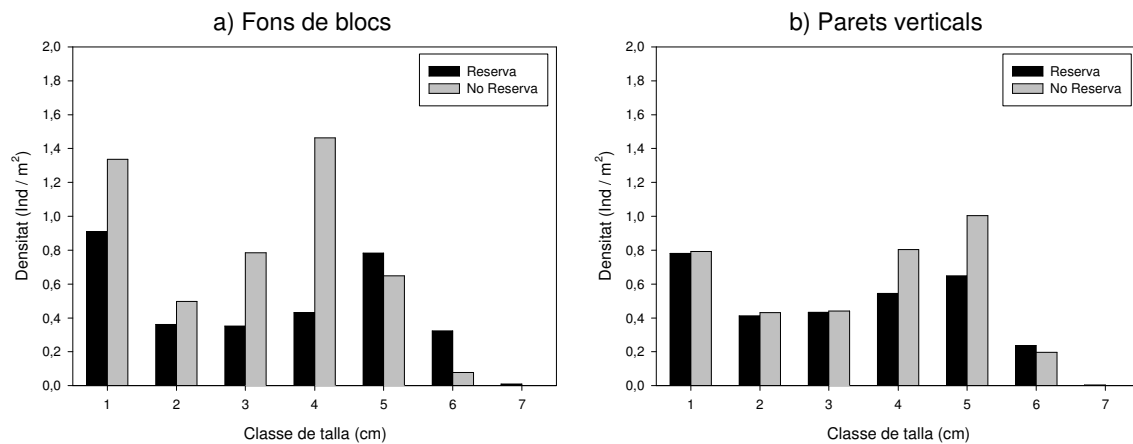


Figura 2. Garota comuna (*Paracentrotus lividus*). Segiment 2002. Estructura de talles per a cada tipus de fons; a) Fons de blocs; b) Parets verticals

El resultat de l'anàlisi per a comparar les densitats entre les diferents poblacions estudiades ens mostra que, a diferència dels anys anteriors, no hi ha diferències ni pel que fa a la protecció ni pel tipus de fons (Taula 3).

Aquesta no significació de les diferències entre dins la reserva i fora pot ser degut a que aquest any no apareixen les grans quantitats de reclutes que apareixien els anys anterior a fora de la reserva.

L'anàlisi de les talles ens mostra que en els fons de blocs les talles són més petites que en les parets verticals. La interacció de l'anàlisi ens mostra que aquest efecte és molt marcat a fora de la reserva, mentre que a la zona protegida, les talles en els fons de blocs són molt similars a les de les parets verticals (Taula 4).

Taula 3. *Garota comuna* (*Paracentrotus lividus*). Segiment 2002. Anàlisi ANOVA de dos factors en el que es testa l'efecte de la protecció (Reserva i No Reserva) i el tipus de fons (Blocs i Paret) en la densitat de les poblacions estudiades.

	df	MS	F	p
Reserva	1	37,74	2,33	0,129
Tipus de fons	1	11,72	0,72	0,397
Reserva x Fons	1	7,96	0,49	0,485
Error	116	16,19		
Transformació	No			
Cochran			0,317	0,681

Taula 4. *Garota comuna* (*Paracentrotus lividus*). Segiment 2002. Anàlisi ANOVA de dos factors en el que es testa l'efecte de la protecció (Reserva i No Reserva) i el tipus de fons (Blocs i Paret) en la talla de les poblacions estudiades.

	df	MS	F	p
Reserva	1	0,001	0,01	0,904
Tipus de fons	1	0,305	8,29	0,004
Reserva x Fons	1	0,354	9,63	0,002
Error	3033	0,04		
Transformació	Log(x+1)			
Cochran			0,287	0,038

Evolució de les poblacions al llarg dels anys de seguiment.

Les figures 3 i 4 mostra l'evolució de les densitats i les talles mitges de *P. lividus* de cada estació 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 de les diferents talles de cada estació durant tots els anys de seguiment i la figura 7 mostra les densitats de cada classe de talla per cada situació experimental.

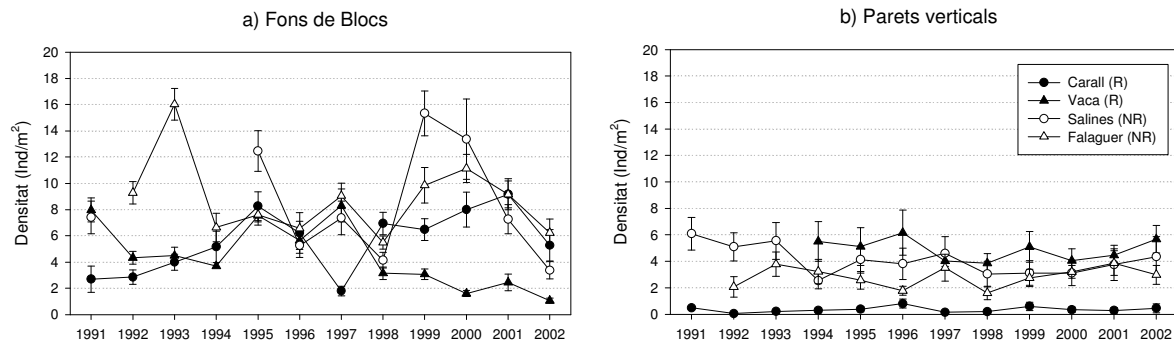


Figura 3. *Garota comuna* (*Paracentrotus lividus*). Seguiment 1991-2002. Evolució de les densitats (Ind/m²) al llarg dels anys de seguiment en les diferents estacions estudiades; a) fons de blocs, b) parets verticals. Signes plens: Reserva; Signes buits: No Reserva.

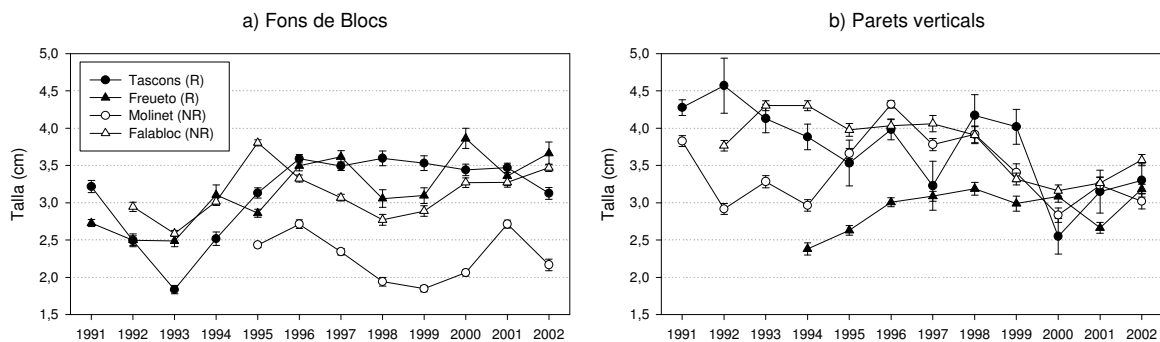


Figura 4. *Garota comuna* (*Paracentrotus lividus*). Seguiment 1991-2002. Evolució de la talla mitja (cm) al llarg dels anys de seguiment en les diferents estacions estudiades; a) fons de blocs, b) parets verticals. Signes plens: Reserva; Signes buits: No Reserva.

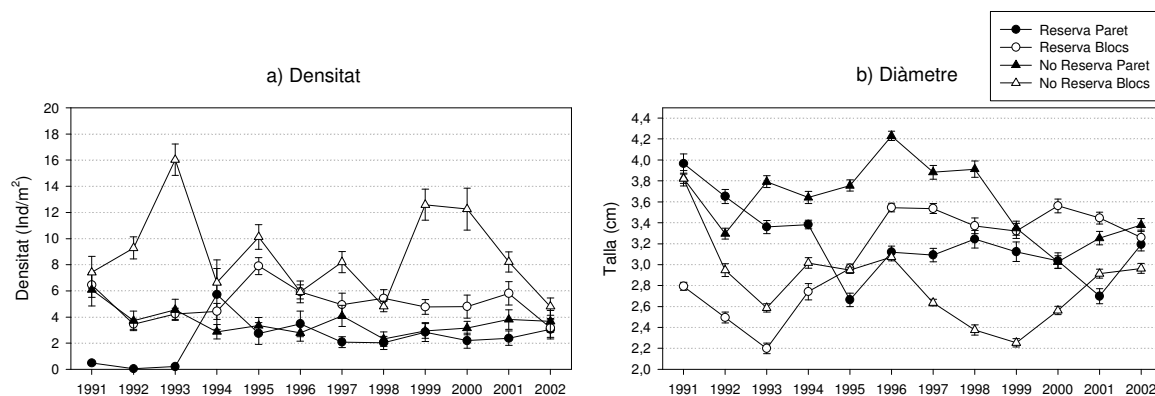


Figura 5. Garota comuna (*Paracentrotus lividus*). Seguiment 1991-2002. Evolució de les densitats (Ind/m^2) i talla mitja (cm) al llarg dels anys de seguiment en les diferents situacions experimentals estudiades.

Fent un anàlisi de l'evolució temporal de les densitats de les diferents situacions experimentals, veiem que els forts pics de reclutament en els fons de blocs de fora la reserva dels anys 1999 i 2000, especialment a la zona del Molinet, s'han repetit en aquests darrers dos anys. Això ha provocat una disminució important de les densitats, fins al punt d'anivellar-se les estacions de dins i fora de la reserva. Aquest pic d'altres densitats provocat per episodis importants de reclutament ja es va poder observar l'any 1993, també a fora de la reserva. És de destacar que, pel contrari, les densitats de dins de la reserva s'han mantingut molt constants durant tots els anys de seguiment.

Aquest fet dona suport a la hipòtesi de que els depredadors, que són més abundants a la reserva, poden controlar els pics de reclutament de les garotes mantenint les poblacions constants.

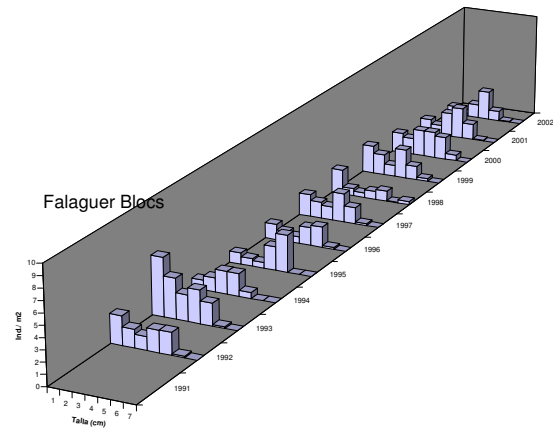
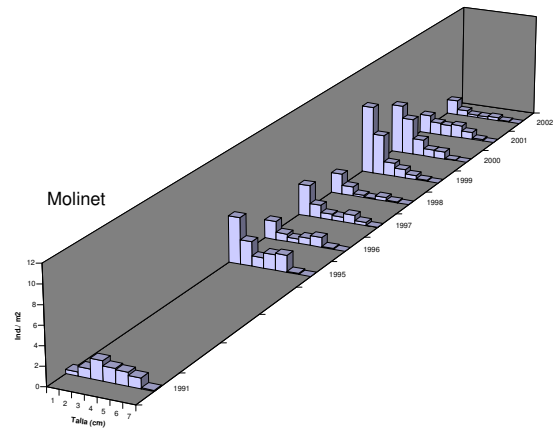
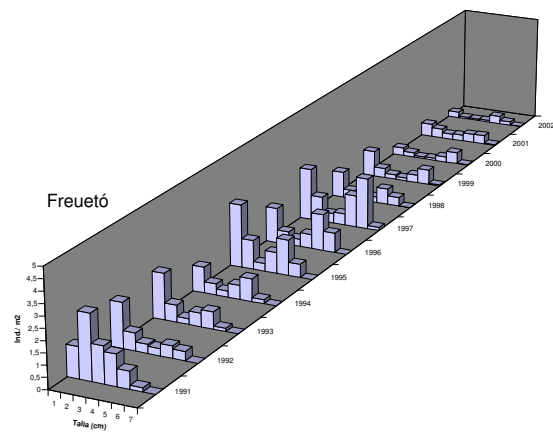
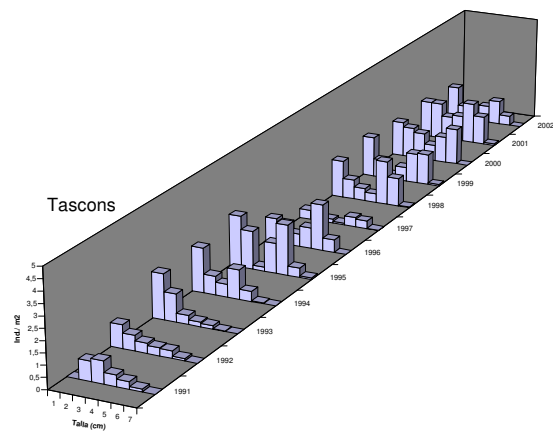
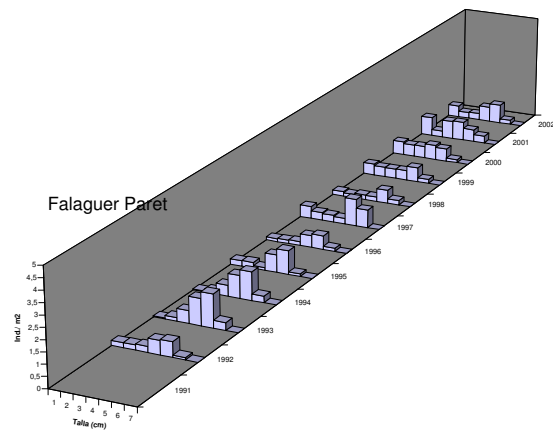
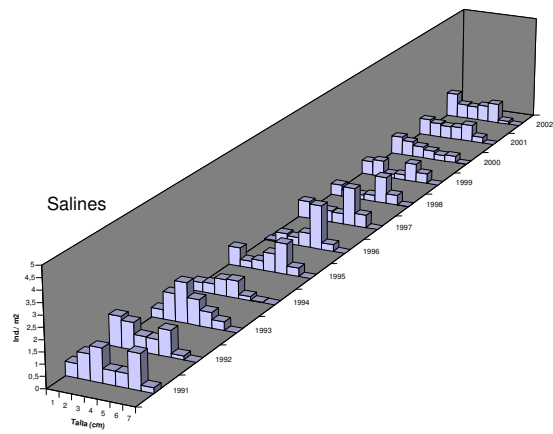
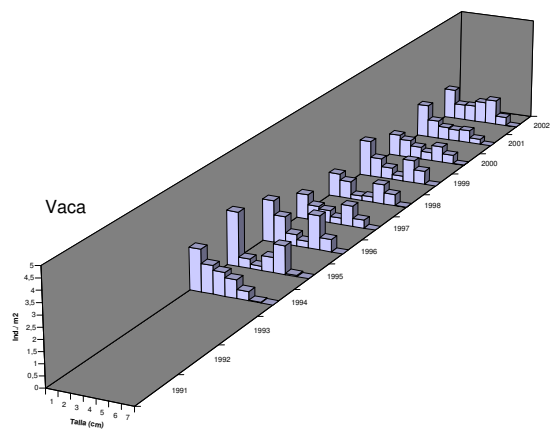
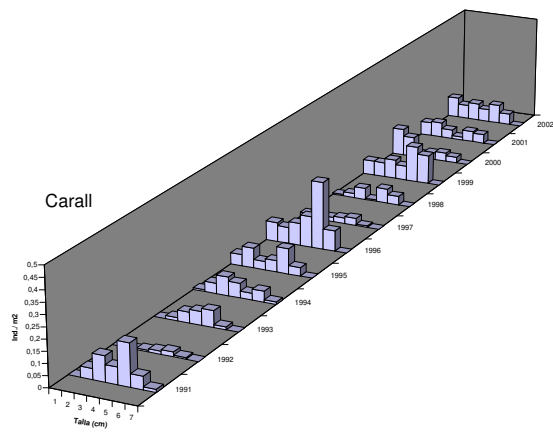


Figura 6. Garota comuna (*Paracentrotus lividus*). Seguiment 1991-2002. Histogrames de les classes de talla de cada estació al llarg de tots els anys de seguiment.

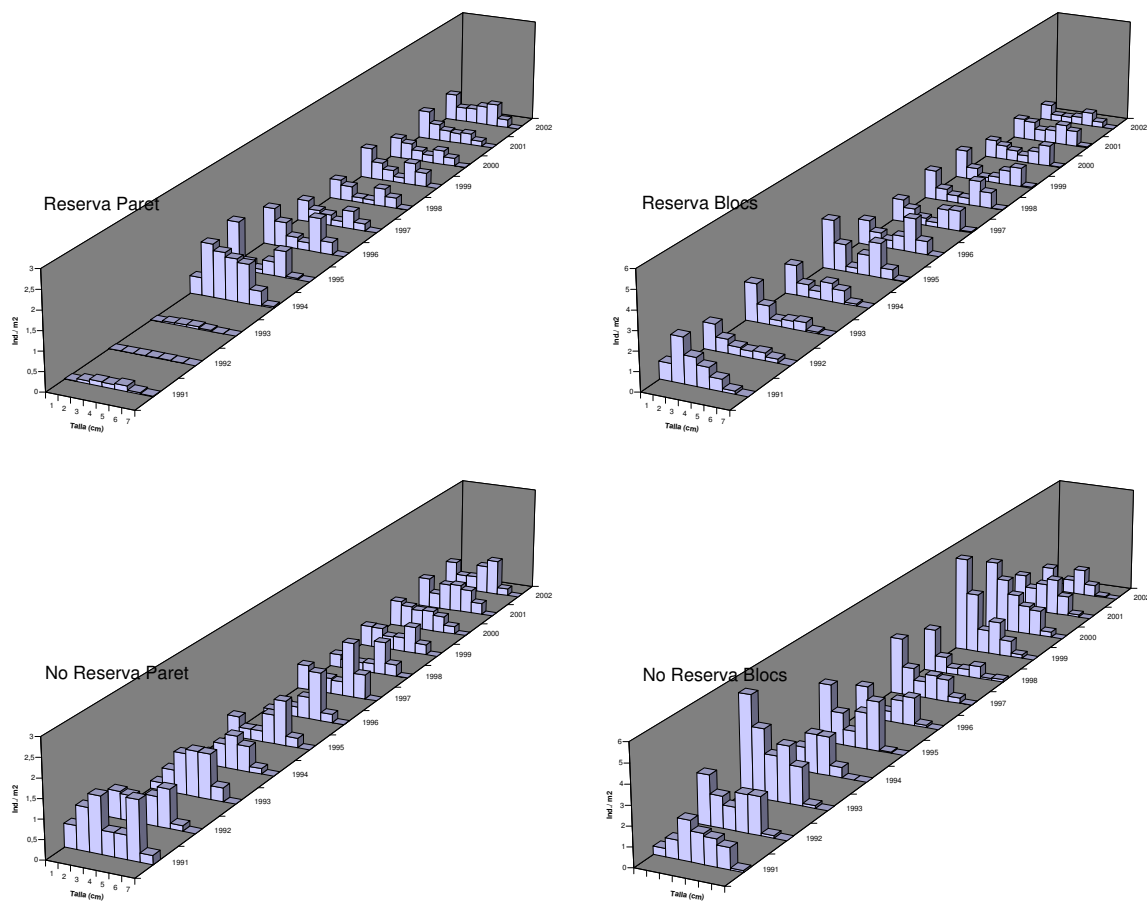


Figura 7. Garota comuna (*Paracentrotus lividus*). Seguiment 1991-2002. Histogrames de les classes de talla de cada situació experimental al llarg de tots els anys de seguiment.

Arbacia lixula

Estat de les poblacions en 2002

La taula 5 mostra els valors de les densitats i els diàmetres mitjans trobats als transectes realitzats el 2002 en cada estació i en cada situació experimental. En la figura 8 es representa en forma d'histogrames les densitats de cada tipus de fons (blocs i paret a dins i fora de l'AMP).

El patró de densitats de *A. lixula* es manté com els anys anteriors, ja que les densitats són significativament més altes a fora de la reserva. A més, en els fons de blocs hi ha una densitat més alta, tant dins com fora de la reserva (taula 6). Les talles mitges, pel contrari, no mostren cap diferència entre dins i fora de la reserva o entre els diferents tipus de fons (Taula 7).

Taula 5. Garota negra (*Arbacia lixula*). Segiment 2002. Densitats (Ind/m²) 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 2002.

	DENSITAT		DIÀMETRE	
	Xn	STD	Xn	STD
AMP				
C.Bernat	0,03	0,10	4,03	0,83
Tascons	0,18	0,40	3,47	1,27
Vaca	0,09	0,17	3,91	0,90
Freuetó	0,44	0,49	3,66	0,77
COSTA AMP				
Punta Salines	0,06	0,12	4,01	0,84
Molinet	0,35	0,42	3,54	1,01
NO AMP				
Falaguer paret	0,22	0,35	3,93	0,64
Falaguer blocs	0,32	0,41	4,26	0,67
AMP blocs				
No AMP blocs	0,06	0,14	3,99	0,86
No AMP blocs	0,31	0,47	3,64	0,91
AMP parets	0,14	0,27	4,19	0,72
No AMP Parets	0,34	0,42	3,73	0,88

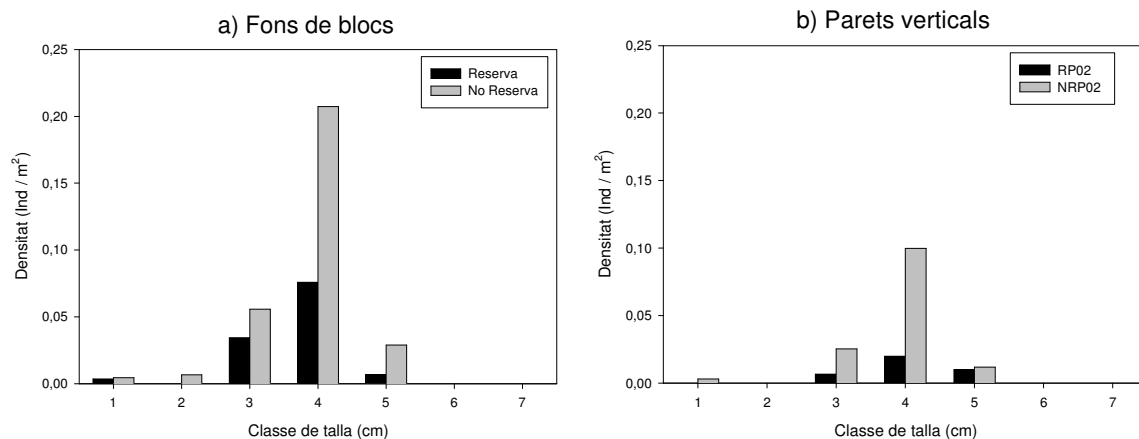


Figura 8. Garota negra (*Arbacia lixula*). Segiment 2002. Estructura de talles per cada tipus de fons; a) Fons de blocs ; b) Costa del Montgrí.

Taula 6. Garota negra (*Arbacia lixula*). Segiment 2002. Anàlisi ANOVA de dos factors en el que es testa l'efecte de la protecció (Reserva i No Reserva) i el tipus de fons (Blocs i Paret) en la densitat de les poblacions estudiades

	df	MS	F	p
Reserva	1	1,10	12,23	0,001
Tipus de fons	1	1,02	11,34	0,001
Reserva x Fons	1	0,06	0,75	0,386
Error	116	0,09		
Transformació	Log(x+1)			
Cochran			0,37	0,047

Taula 7. Garota negra (*Arbacia lixula*). Segiment 2002. Anàlisi ANOVA de dos factors en el que es testa l'efecte de la protecció (Reserva i No Reserva) i el tipus de fons (Blocs i Paret) en la talla de les poblacions estudiades.

	df	MS	F	p
Reserva	1	0,147	0,304	0,582
Tipus de fons	1	0,798	1,649	0,201
Reserva x Fons	1	1,374	2,840	0,094
Error	178	0,484		
Transformació	No			
Cochran			0,280	0,796

Evolució de les poblacions al llarg dels anys de seguiment.

Les Figures 9 i 10 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 12 i 13 mostren en forma d'histogrames l'evolució de les densitats de cada classe de talla per a cada estació i a cada tractament experimental durant tots els anys de seguiment.

Després del breu augment de les densitats i disminució de les talles de l'any passat, que corresponien a una dèbil entrada de reclutes a les poblacions, sembla que s'han normalitzat els paràmetres poblacionals d'aquesta espècie. A diferència de *Paracentrotus lividus*, la dinàmica de les poblacions de *Arbacia lixula* és molt més constant i parsimoniosa, ja que les densitats i l'estructura de talles es manté constant al llarg dels anys amb un pic unimodal en la talla 4, sense que es detectin entrades de reclutes importants en les poblacions.

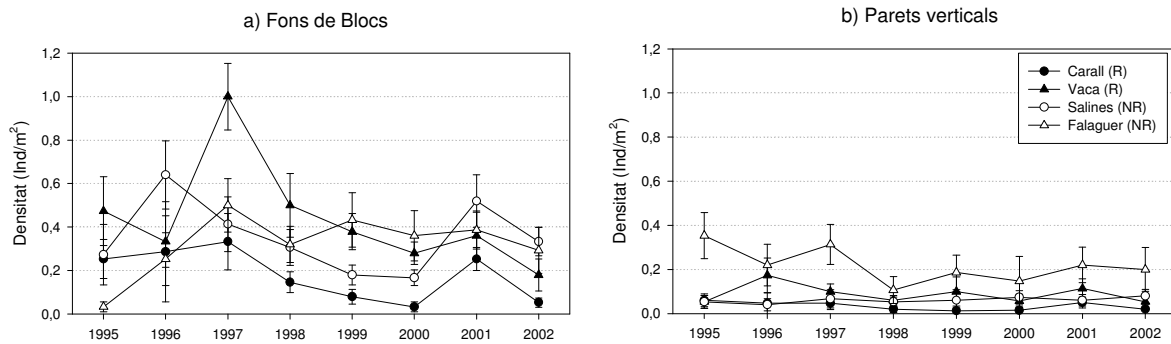


Figura 9. *Garota negra (Arbacia lixula)*. Seguiment 1995-2002. Evolució de les densitats (Ind/m²) al llarg dels anys de seguiment en les diferents estacions estudiades; a) fons de blocs, b) parets verticals. Signes plens: Reserva; Signes buits: No reserva

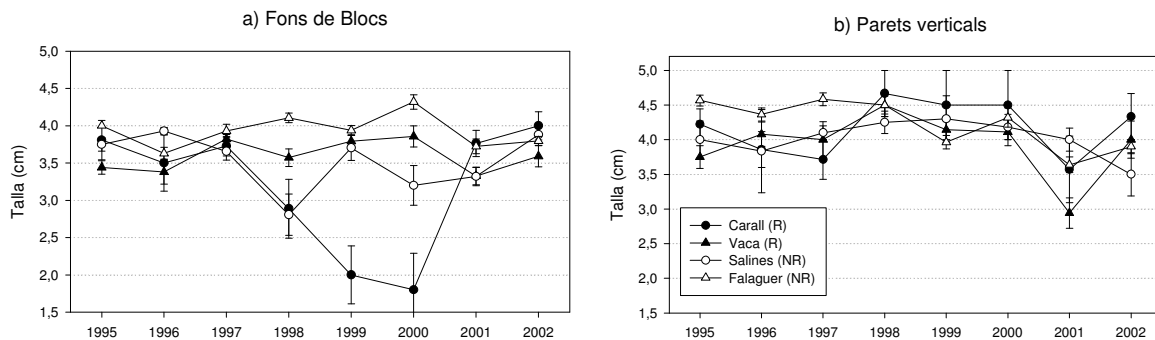


Figura 10. *Garota negra (Arbacia lixula)*. Seguiment 1995-2002. Evolució de la talla mitja (cm) al llarg dels anys de seguiment en les diferents estacions estudiades; a) fons de blocs, b) parets verticals. Signes plens: Reserva; Signes buits: No Reserva.

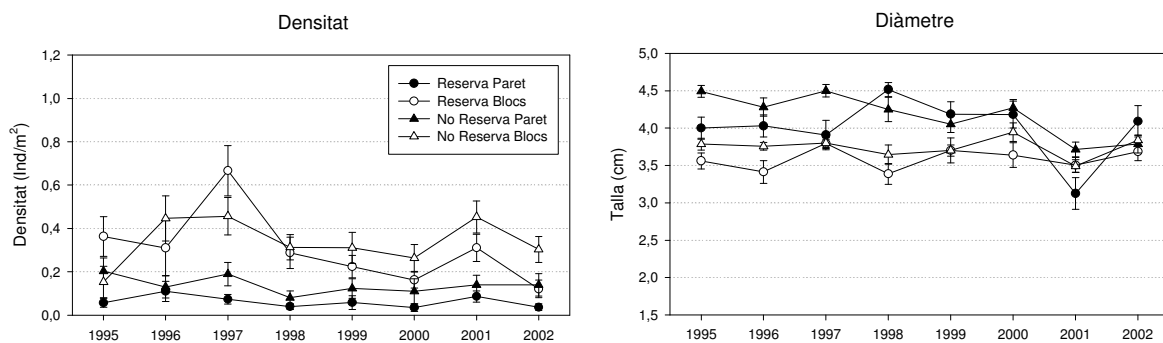


Figura 11. *Garota negra (Arbacia lixula)*. Seguiment 1991-2002. Evolució de les densitats (Ind/m²) i talla mitja (cm.) al llarg dels anys de seguiment en les diferents situacions experimentals estudiades.

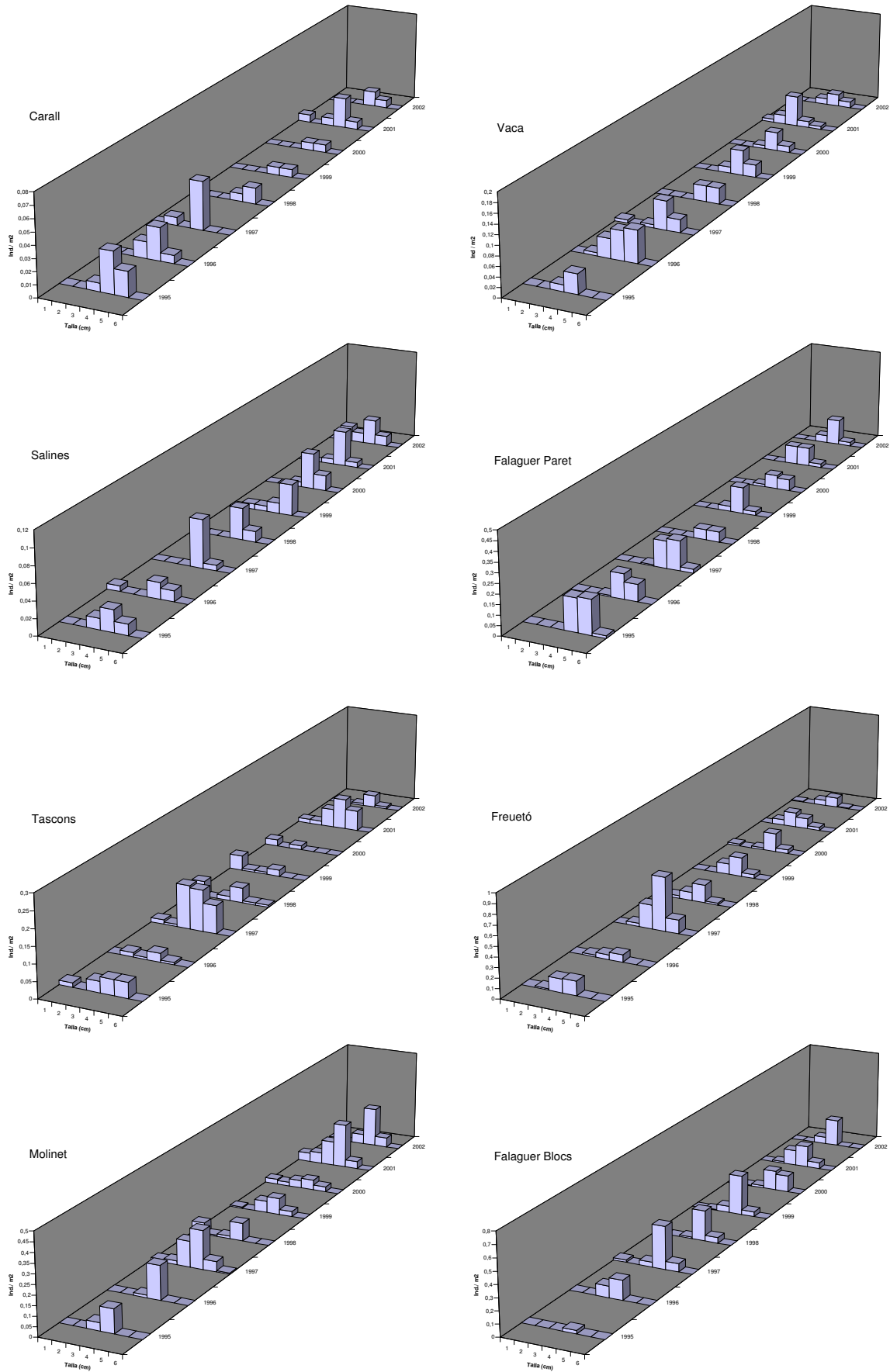


Figura 12. Garota negra (*Arbacia lixula*). Seguiment 1995-2002. Histogrames de les classes de talla de cada estació al llarg de tots els anys de seguiment.

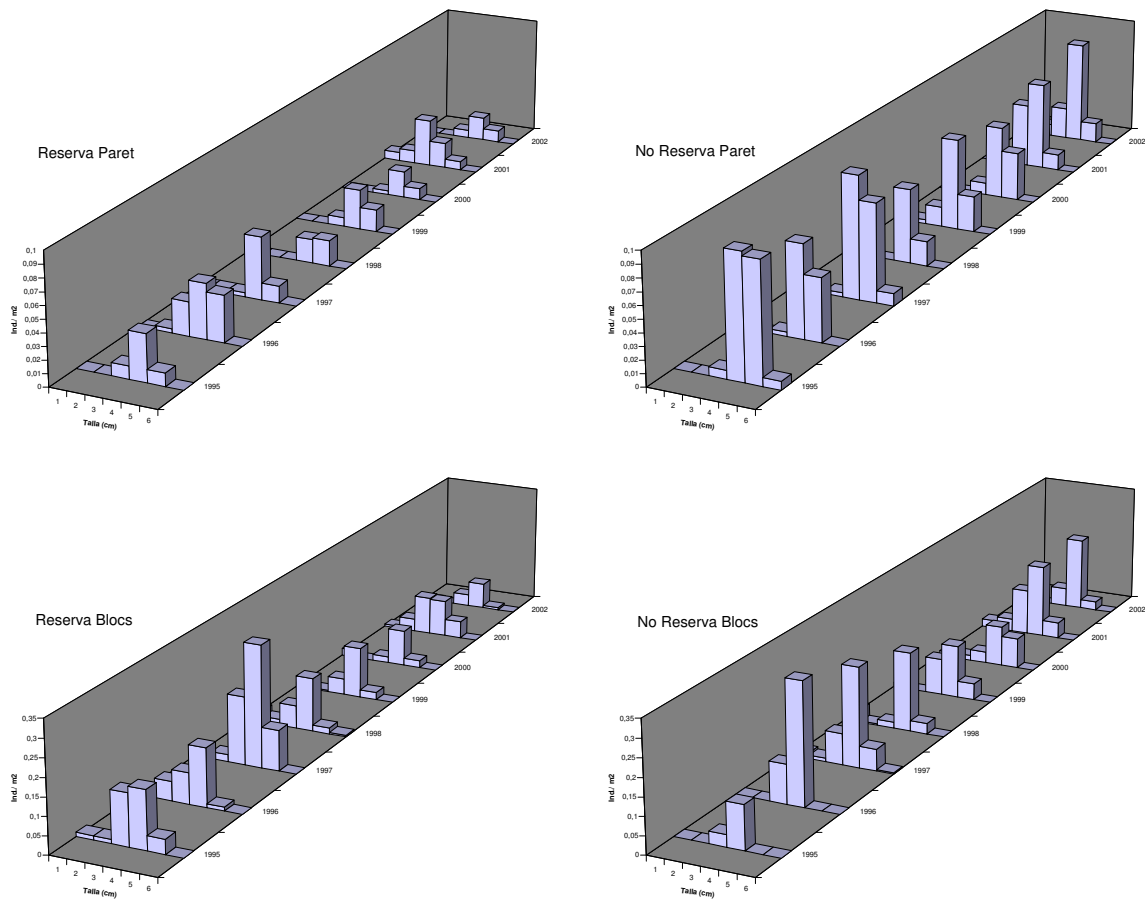


Figura 13. Garota negra (*Arbacia lixula*). Seguiment 1991-2002. Histogrames de les classes de talla de cada situació experimental al llarg de tots els anys de seguiment.

DISCUSSIÓ I CONCLUSIONS

Els models existents sobre les relacions entre peixos, garotes i algues (Mc Clanahan & Muthiga, 1989; Mc Clanahan & Shafir, 1990; Mc Clanahan & 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 el grau d'acompliment d'aquestes prediccions a la llum dels nostres resultats.

Paracentrotus lividus

Anàlisi dels resultats de l'any 2002

Després de un període de fort reclutament a les estacions de fora de la reserva, les densitats de fora de la reserva disminueixen, assolint uns valors tant de densitat com de talla mitjana similars als de la zona protegida.

La variació de les densitats i les talles de les estacions de fora de la reserva es poden observar també amb el canvi que hi ha hagut en l'estructura de talles, ja que han desaparegut les classes de talla petites i han augmentat relativament les classes de talla mitjana. Així, en els darrers dos anys que hi ha hagut una aturada en el reclutament les estructures de talla de les poblacions de blocs de fora de la reserva han

passat de tenir una forma exponencial amb dominància dels reclutes a una forma binomial, amb dos pics representats per classes de talla petita (1-2 cm) i una per talles grans (4-5 cm).

L'aturada en el reclutament també ha fet disminuir les diferències en les densitats entre els fons de blocs i les parets verticals, tot i que es manté la diferència entre les parets verticals, amb la talla mitja més gran, i els fons de blocs.

A més del cicles de la pròpia espècie, com són els patrons de reclutament, hem de considerar també els factors ambientals com a causants de canvis. Els temporals de l'hivern de 2001 varen ser molt freqüents i forts. Els efectes d'aquests temporals varen ser molt evidents, sobretot en els fons de blocs a poca profunditat, ja que la virulència del temporal va provocar que la majoria de blocs de roca es moguessin trencant així la majoria de fauna bentònica. Després dels temporals es va poder observar com totes les roques fins a un fons de uns 8 metres havien estat remogudes i girades, i havien quedat totalment llimades. A més, es varen poder observar esquelets de garotes trencats.

Es per aquesta sèrie d'indicis que creiem que els temporals poden haver tingut un efecte important en l'estructura i la dinàmica de les poblacions causant una gran mortaldat.

Anàlisi de la sèrie temporal (1991-2002)

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). A partir de l'any 2001 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 (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, 1996), 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, sí 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 molta 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.

El petit pic de reclutament que es va poder observar l'any passat, enguany ha quedat totalment atenuat, fet que sembla confirmar que aquesta espècie és molt menys dinàmica, i que, quan es produeix, el reclutament és molt menys important que en *P. lividus*.

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 conduirien a les situacions de sobrepastura de les poblacions 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. Estudis paral·lels al seguiment realitzats a la costa del Montgrí i les Illes Medes (Hereu et al., 2002) han demostrat que hi ha una gran variabilitat tant espacial (en escales de desenes de metres) com temporal (d'un any per l'altre), descartant així cap patró que diferenciï les pautes d'assentament de les poblacions de les Illes Medes i les de la costa.

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.
- Escoubet, P. 1977. Effets d'une bâche sur des chaînes alimentaires courtes: *Dunaliella-Venerupsis*; *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 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.
- Hereu, B., Zabala, M., Linares, C., Sala, E. (2002) Temporal and spatial variability in settlement of the sea urchin *Paracentrotus lividus* (Lamarck). Sota revisió.
- 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'evaluation des stocks chez *Paracentrotus lividus* (Lmk): exemple d'une campagne de denombrement autour de l'archipel du frioul (Marseille, France). Colloque international sur *Paracentrotus lividus* et les oursins comestibles, C.F. Bouderesque 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* (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 infralitoral 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.