

AVALUACIÓ DE LES COMUNITATS ALGALS DE LES ILLES MEDES I LA COSTA DEL MONTGRÍ

Bernat HEREU, Cristina LINARES I Mikel ZABALA

Departament de Biologia Animal, Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona
Diagonal 645, 08028 Barcelona

PRESENTACIÓ

El fet de que cap espècie algal hagués estat seleccionada com objecte del nostre seguiment (la única espècie vegetal monitoritzada és la fanerògama *Posidonia oceanica*) era un motiu permanent d'insatisfacció, i una mancança que havia de ser esmenada. Els motius de l'exclusió de les algues eren evidents, i encara ara poden ser argumentats amb la mateixa validesa: la majoria de les algues tenen cicles de vida tan efímers que les fan molt depenents de la estacionalitat; la majoria són molt toves i poc sensibles a l'erosió pels escafandristes; quan són rígides i perennes, les algues calcàries adopten formes de creixement tan plàstiques que les fan difícils de comptar i mesurar; moltes d'elles són molt petites per als censos visuals i es troben barrejades en agregacions poc aptes per als recomptes; per últim, són organismes sense valor comercial, de poc valor totèmic i baix impacte social.

En contrapartida, les algues juguen un paper ecològic essencial i són un dels centres d'atenció de les hipòtesis que prediuen impactes en cascada al llarg de les cadenes tròfiques associats als diferents models de gestió com els representats pels extrems sobrepesca-reserves marines (Sala, 1996; Mac Clanahan & Sala, 1997). Quan, en el curs dels treballs de tesi doctoral d'un de nosaltres (B. H.) vàrem poder practicar amb una tècnica ràpida de mostreig de les comunitats algals que va demostrar ser compatible amb els requeriments del seguiment, de seguida ens vàrem plantejar la conveniència d'incorporar-la al nostre programa.

INTRODUCCIÓ.

Les algues són els organismes dominants als paisatges submarins que volten les Illes Medes,

tant per la seva biomassa com per la seva diversitat. De fet, les algues són presents a totes les comunitats bentòniques del nostre litoral, des de la superfície del mar fins a fondàries que poden superar els 100 metres.

Podem trobar una gran diversitat fitobentònica, tant en les espècies d'algues com en les comunitats que formen. Aquesta diversitat és generada per diferències en els seus requeriments fisiològics i per la resposta a una sèrie de factors ambientals que condicionen la seva distribució. Així, cada espècie s'ha adaptat a viure en un ambient en el que existeixen gradients de il·luminació, d'hidrodinamisme i disponibilitat de nutrients, en el tipus de substrat i la temperatura (Ollivier, 1929; Feldmann, 1937; Péres i Picard, 1964; Riedl, 1966; Ros et al., 1985). El principal gradient que podem retenir, perquè resumeix molts dels anteriors, és el batimètric. Com a resultat, podem observar una marcada zonació, de forma que cada espècie o comunitat només és present en un rang de profunditats determinat. D'aquesta forma trobem un paisatge organitzat en bandes horitzontals, on cadascuna correspon a un tipus de comunitat.

Degut a que les condicions ambientals són tan radicalment diferents, les característiques d'aquestes comunitats també ho són. Així, les espècies i comunitats més superficials, que tenen una elevada irradiació, una alt hidrodinamisme i un aport important de nutrients, són més productives i tenen cicles estacionals molt marcats; en contrast, les de fondària tenen una dinàmica i un creixement més lent degut a les restriccions de llum i en l'aport de nutrients (Johnson, 1969; Ballesteros, 1984).

Tots aquests factors fan que hi hagi una gran diversitat de condicions ambientals que es tradueix en una gran diversitat específica; especialment al Mediterrani, on s'han comptat més de 800 espècies, més de 500 de les quals estan citades les costes catalanes (Ballesteros, 1984).

Degut als importants papers ecològics que desenvolupen, les algues són un component fonamental dels ecosistemes bentònics marins. Son els principals productors primaris que aporten matèria orgànica a la xarxa tròfica per una part a través dels herbívors, com les salpes o les garotes (Kempf, 1962; Verlaque, 1987; Sala, 1996), però també, i sobretot, a través dels detritívors que descomponen i processen les frondes despreses al final de l'època de producció (Odum i De La Cruz, 1963).

A més de la seva funció com a productors primaris, les algues tenen un important paper estructural. En els ambients marins, on la majoria d'animals i algues viuen fixats al substrat, hi ha una forta competència per l'espai. L'estructura de les algues ofereix, per una part, una superfície on una gran quantitat d'organismes, tant animals com plantes, s'hi adhereixen utilitzant-les com a base de fixació. Així, per exemple, s'ha arribat a comptar fins a 150 espècies d'algues epífites fixades sobre el tal·lus d'una espècie de *Cystoseira* (Naegele i Naegele, 1961).

L'estructura tridimensional de les algues crea alhora una gran quantitat de microambients que son aprofitats per multitud altres d'organismes (crustacis, mol·luscs, poliquets...), que viuen entre les fronds o dins les estructures calcàrees que creen les algues incrustants. Aquesta riquesa d'organismes és aprofitada per altres espècies que s'hi alimenten, com les larves de peixos, que, a més de trobar-hi aliment, alhora es protegeixen dels seus depredadors. D'aquesta manera, trobem que, a més de la pròpia riquesa específica, creen una estructura on viu i interacciona una gran quantitat d'organismes; de forma que sovint s'han comparat les comunitats algals ben desenvolupades amb selves tropicals pel que fa a la seva complexitat.

Finalment, a més del valor florístic i faunístic *per se*, les algues tenen un important valor paisatgístic. Si tenim en compte que a les costes Mediterrànies, i especialment a la costa del Montgrí i les Illes Medes, hi ha una gran tradició en la pràctica d'activitats subaquàtiques, les comunitats algals i tota la seva fauna associada (tant invertebrats com peixos) constitueixen uns paisatges únics per a l'observació i estudi de la natura.

En la sèrie de treballs realitzats per al Seguiment temporal de l'àrea Marina Protegida de les Illes Medes, treball que començà l'any 1991, les algues no es varen considerar degut a la complexitat que el seu estudi comporta. El disseny creat per al monitoratge de les Illes Medes estava basat

en la mesura de variables biològiques de fàcil replicació, alta fiabilitat dels censos i que responien a impactes concrets (vegi's la introducció de la Memòria). Una mesura de la diversitat de les comunitats algals no encaixava dins d'aquest disseny, ja que l'abundància d'espècies i la dificultat en la seva identificació no promet una bona fiabilitat ni una fàcil replicació. A més, en aquell moment no es va identificar cap possible impacte que pogués afectar les comunitats algals, i la seva variabilitat espacial i temporal semblava respondre a causes molt difuses.

Si bé és cert que les algues i les comunitats algals han estat tradicionalment "oblidades" en els treballs científics i de seguiment del patrimoni natural de les Illes Medes, això no vol dir que no s'hagin fet estudis. El primer treball que fa referència a les comunitats algals de la costa del Montgrí és el de Dizerbo (1954) que fa una descripció molt breu de les comunitats infralitorals, equiparant-les amb les de les costes de les Alberes. Els primers treballs que es varen fer de cares a una catalogació de les espècies d'algues es va dur a terme per Ballesteros et al. (1984) dins el "Programa de bentos de la costa catalana, 1972-1974", dut a terme per l'equip del Dr. Joan Domènec Ros, del Departament d'Ecologia de la Universitat de Barcelona, on es fa un llistat d'espècies i una descripció de les comunitats.

Més endavant, els treballs de Enric Sala (Sala, 1996; Sala i Ballesteros, 1997; Sala i Boudouresque, 1997) varen incloure les algues i les comunitats algals en el seu estudi de l'ecologia dels herbívors.

En els darrers anys, l'interès per les comunitats fito-bentòniques ha augmentat en identificar-se una sèrie de factors que poden afectar les comunitats algals i, per tant, modificar el paisatge submarí.

Per una part, pot haver un efecte de sobrepassura per part de les garotes, els principals herbívors bentònics de la Mediterrània (Verlaque, 1987). Com els peixos litorals són els principals depredadors i controladors de les garotes (Sala i Zabala, 1997), i com, degut a la sobrepesca, les poblacions de peixos litorals actualment només són abundants a les reserves marines, es pot aventurar la hipòtesi que han d'existir diferències en la densitat de les poblacions de garotes de les reserves marines (baixa) i les zones no protegides (elevada). Pels anomenats efectes en cascada, la disminució de peixos provoca un augment de les garotes, i l'augment en les poblacions d'aquests herbívors pot afectar notablement les comunitats

algals. Així, s'ha descrit que altes densitats de garotes poden transformar comunitats algals ben desenvolupades en altres dominades per algues calcàries, amb una diversitat i complexitat molt inferior (Kempf, 1962; Verlaque, 1987; Sala, 1996; MacClanahan i Sala, 1997).

Aquesta temàtica ha estat objecte d'estudi en treballs paral·lels al seguiment (Sala, 1996; Hereu, dades no publicades), i ha permès entre altres resultats, posar a punt una tècnica semi-qualitativa que permet un control efectiu i fàcilment replicable de les comunitats algals, metodologia que s'ha aplicat en aquest treball (vegi's metodologia).

Una altra causa de canvis en les comunitats algals són els efectes difosos relacionats a canvis en les condicions ambientals, contaminació.. etc. Aquestes diferències poden donar patrons espacials determinats, o canvis al llarg del temps. En els últims anys s'han detectat variacions en les densitats d'algunes espècies d'algues (Ballesteros, com. pers.), canvis que responen probablement a aquest factors difosos difícils de determinar.

L'aparició d'espècies introduïdes o invasores és també una possible causa de canvis en les comunitats algals. Ja hi ha exemples d'algues que han estat introduïdes i que han provocat canvis dràstics en les comunitats. Aquest és el cas de *Asparagopsis armata*, que en la època de màxima producció domina totalment les comunitats on és present (Sala, 1996). Però l'amenaça més important és en aquests moments l'expansió de l'alga tropical *Caulerpa taxifolia* (Meinesz et al., 1997). Aquesta espècie, introduïda a Monaco l'any 1984, s'ha escampat al llarg de les costes Mediterrànies a un ritme molt ràpid, encara que de moment no ha aparegut a la costa catalana. La presència d'aquesta alga genera un canvi radical en les comunitats algals, ja que ocupa el 100% de la superfície, desplaçant així la resta d'algues i fauna associada, amb la conseqüent pèrdua de diversitat (Meinesz, 1999).

Per totes aquestes raons i degut a la seva importància en els ecosistemes marins i als canvis que s'hi poden produir, hem incorporat el control de les comunitats algals en el Seguiment Temporal de l'Àrea Marina Protegida de les Illes Medes. El seu monitoratge ens permetrà, per una part, tenir un control paral·lel al de les comunitats de garotes i peixos (cinqué i nové apartats, respectivament, d'aquesta memòria) per a testar l'efecte tròfic de la reserva; i d'altra part ens brindarà l'oportunitat de detectar possibles canvis causats o bé per introducció d'espècies introduï-

des o per factors difosos (canvis ambientals, contaminació...).

Objectius

La tècnica no permet observar totes les espècies d'algues presents i per aquesta raó no és adequada per a càlculs de biodiversitat. Però com en el cas dels censos de peixos, permet estimar les abundàncies de les espècies de macro-algues que més contribueixen a la biomassa algal, fins a explicar un elevat percentatge (sempre més del 80-90 %) del seu total; en aquest sentit, la tècnica ha de ser capaç de detectar canvis significatius en la composició de les comunitats algals al llarg del temps, el que constitueix l'objectiu prioritari del nostre seguiment.

Un altre factor que, de segur, té molt pes en la composició de les comunitats de macro-algues és la fondària, atès que d'ella depenen la irradiància, l'hidrodinamisme i la disponibilitat de nutrients (Ballesteros, 1984). Com monitoritzar tots els horitzons algals demanaria uns recursos que queden fora de les possibilitats d'aquest seguiment, ens hem marcat com objectiu registrar els canvis operats a dues fondàries representatives de la franja batimètrica on la biomassa algal és més important: les comunitats d'algues fotòfiles a 5 m. i les comunitats més esciofíles de 10 m de fondària.

Que enguany començi el seguiment d'aquest segment de la biota vol dir que no existeixen dades prèvies comparables a les que referir els seus resultats. Així, l'objectiu de la memòria de 2001 consisteix a establir el "punt zero" o nivell de base de les poblacions de macro-algues, malgrat que aquest arribi molt després de la creació de la AMP (1983 parcialment i 1990 en la seva forma actual).

Hipòtesis

Com ha quedat dit, les qüestions que ens interessa analitzar al voltant de l'evolució de les algues a les AMP no es relacionen amb la freqüentació pels visitants sinó amb l'efecte final de les cascades tròfiques esperables després de retirar l'home com depredador d'uns ecosistemes costaners en els que estava realitzant una pressió de sobre-pesca molt notable.

No existint encara la dimensió temporal, la principal qüestió d'interès consisteix a documentar la **variabilitat espacial** en la distribució de les algues. En concret, resulta del màxim interès

Taula 1. Comunitats algals. Seguiment 2001. Mitjanes i desviacions estàndard del percentatge de cobertura de les diferents espècies d'algues seleccionades per a l'estudi en les diferents situacions experimentals.

	Medes 5m		Medes 10m		Costa 5m		Costa 10m	
	Mitja	D.st.	Mitja	D.St.	Mitja	D.St.	Mitja	D.St.
Chlorophyta								
<i>Codium bursa</i>	6.77	10.49	10.95	13.08	10.06	10.08	19.56	16.33
<i>Codium effusum</i>	3.03	7.57	0.34	2.59	2.65	5.97	0.25	1.21
<i>Codium vermilara</i>	3.78	5.91	2.15	4.59	31.29	20.80	17.38	19.03
<i>Flabellia petiolata</i>	0.57	2.57	4.34	7.40	0.00	0.00	1.38	5.05
<i>Halimeda tuna</i>	2.02	4.10	3.79	6.05	2.32	3.94	2.25	4.02
Phaeophyta								
<i>Cladostephus hirsutus</i>	0.18	1.32	0.29	1.34	0.32	1.32	0.44	2.27
<i>Colpomenia sinuosa</i>	3.34	6.73	1.43	3.40	4.58	6.75	0.31	1.30
<i>Cystoseira compressa</i>	2.24	4.96	0.72	2.02	0.97	3.21	0.00	0.00
<i>Cystoseira sp.</i>	10.64	15.62	11.03	13.75	1.48	3.49	0.00	0.00
<i>Cystoseira zosteroides</i>	0.00	0.00	0.38	2.61	0.00	0.00	0.00	0.00
Dictiotals	85.93	13.81	78.02	14.33	64.13	20.97	71.88	17.80
<i>Halopteris sp.</i>	20.92	20.12	34.53	25.51	21.03	16.56	13.25	16.53
<i>Padina pavonica</i>	20.97	15.80	16.38	12.76	19.35	12.08	13.19	10.49
Rhodophyta								
<i>Asparagopsis armata</i>	25.76	22.81	12.17	16.72	3.87	5.17	1.00	2.25
<i>Bonemaissonia asparagoides</i>	1.45	3.75	11.41	15.88	0.06	0.51	2.38	3.89
<i>Corallina elongata</i>	45.67	19.22	20.29	17.86	53.23	21.84	21.13	16.46
<i>Jania sp.</i>	7.52	9.65	39.07	20.89	21.16	21.49	31.31	20.14
<i>Laurencia obtusa</i>	11.74	10.29	0.51	1.34	10.32	17.97	1.50	5.36
<i>Litophyllum incrustans</i>	2.90	4.99	5.68	5.94	18.71	20.99	14.19	16.80
<i>Mesophyllum lichenoides</i>	6.81	9.07	6.44	7.66	22.71	17.78	21.94	17.21
<i>Peysonellia sp.</i>	2.55	5.89	6.95	10.51	4.32	8.64	10.31	12.22
<i>Sphaerococcus coronopifolius</i>	2.02	5.79	11.28	17.82	10.45	15.37	26.00	24.58
<i>Wrangelia penicillata</i>	1.23	2.96	6.27	8.24	11.03	11.92	17.69	14.64
Categories								
Erectes	94.81	7.48	95.07	7.90	90.71	9.60	95.19	7.31
Gespes	73.49	24.27	74.69	22.02	89.74	12.09	75.88	19.26
Blancall	0.62	2.30	0.72	2.33	9.74	16.03	5.13	10.27

indagar si existeixen diferències significatives en la composició de les poblacions algals a les tres àrees sotmeses a un règim de protecció diferent :

- 1) les Illes Medes, on tota extracció és estrictament prohibida;
- 2) el sector Molinet-Pta. Salines, on s'autoritza la pesca artesanal i esportiva amb canya; i
- 3) la costa del Montgrí situada al nord de la Pta. Salines sotmesa al règim de gestió comú a tot el litoral català (no protegida).

En el cas de detectar-se, aquestes diferències entre llocs podrien ser interpretades com evidències de l'existència dels esmentats efectes de cascada tròfica. Però cal observar que existeixen altres factors alternatius susceptibles d'explicar satisfactòriament les mateixes diferències; com per exemple, el caràcter insular de les Medes envers del caràcter continental de les altres dues

situacions; o diferències en la topografia, rugositat o les condicions hidrològiques (corrents, turbidessa) que no són totalment independents del factor anterior. En aquest sentit, el disseny del nostre experiment serà sempre imperfecte perquè no disposem (en la proximitat) d'illes obertes al règim de gestió comú (illes no AMP), ni segments de la costa continental sotmesos al règim de més estricta protecció.

METODOLOGIA

La metodologia utilitzada es basa en els censos visuals, on es quantifica la cobertura de una sèrie predeterminada d'espècies d'algues, després agrupades en una sèrie de grups funcionals (Taula 1). Aquests grups funcional han estat seleccionat

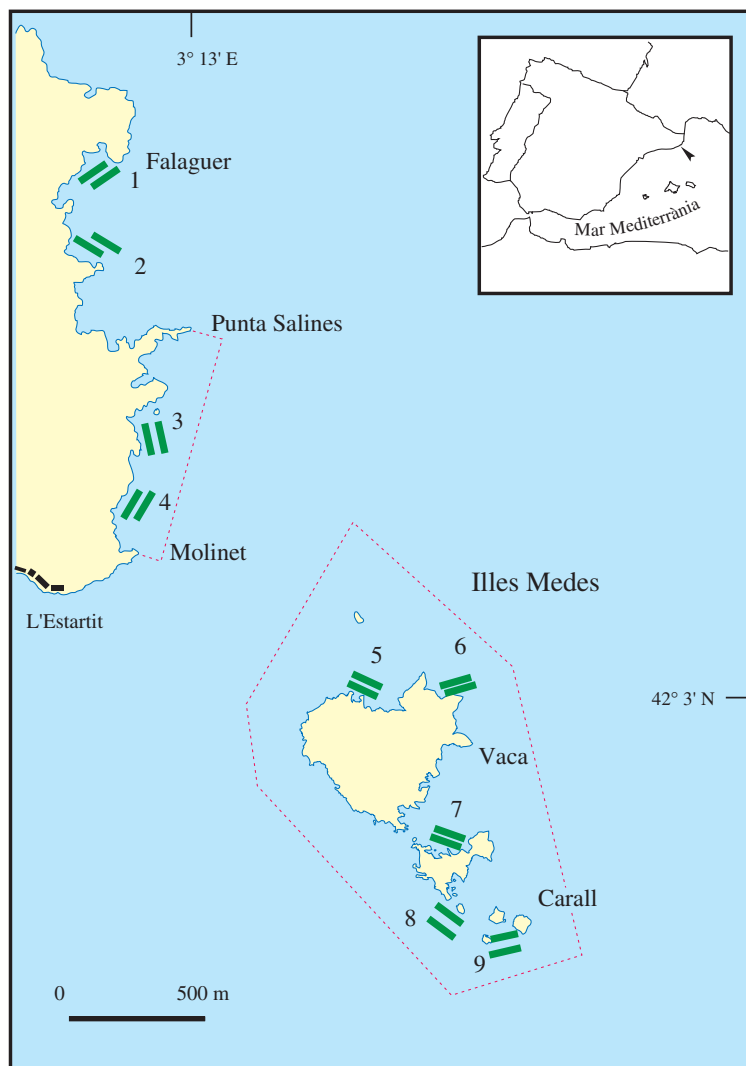


Figura 1. Comunitats algals. Seguiment 2001. Localització de les estacions (5 i 10 metres). 1 = Falaguer, 2 = Dui, 3 = Arquets, 4 = Molinet, 5 = Coetera, 6 = Pedra de Deu, 7 = Racó dels Caganers, 8 = Ferranelles, 9 = Tascons.

seguint els criteris de Sala (1996). Les algues estudiades han estat seleccionades degut a que són les espècies principals de les comunitats que formen, tant en biomassa com en el component estructural; és a dir, que en la seva majoria són algues erectes amb un port vertical important, o són incrustants que determinen el tipus de substrat. Un altre criteri per a la selecció ha estat la facilitat en la seva identificació. Una ràpida identificació ens permet una alta replicabilitat i disminuir la probabilitat d'errors durant del comptatge.

La variable que es mesurava era la cobertura de cada espècie i de cada grup funcional. Per al càlcul de la cobertura s'utilitzaven quadres de PVC de 50 x 50 cm, reticulats en 25 quadrícules de 10 x 10 cm. Aquest quadres es deixaven depositar a l'atzar sobre el fons i s'apuntava la quantitat de quadrícules en que cada espècie d'alga era present. Per a calcular el percentatge de cobertura es dividia el nombre de quadrícules en les que cada espècie era present pel total de quadrícules.

Es varen seleccionar 9 localitats repartides entre les tres situacions experimentals (Figura 1): 5 a les Illes Medes (AMP totalment protegida), 2 a la costa del Montgrí (AMP parcialment protegida), i 2 a la costa del Montgrí (no AMP no protegida). La selecció dels llocs va respondre a criteris de similitud de fondària, topografia, rugositat, orientació i composició florística. A cadascuna d'aquestes localitats es varen estudiar dues fondàries predeterminades: 5 i 10 m. A cada lloc, es va balisar una àmplia zona (àrea grollerament quadrada d'uns 25 m² de superfície) per tal de poder replicar-la en anys consecutius. En cada estació es varen comptar un total de 20 quadres disposats a l'atzar, cobrint així un total de 5 m² per a cada localitat i profunditat.

Tots els recomptes es varen realitzar en un període estret de 6 dies del mes de Maig (20-25/05/2001). S'ha triat aquesta època perquè correspon al moment en que la majoria d'espècies mostren els seus màxims de biomassa (Ballesteros, 1984; Sala, 1996). El requisit de sincroni-

citat respòn a la voluntat de minimitzar l'efecte de l'estacionalitat, factor que sens dubte és tant o més important que els que estudiem pel que fa a canvis en la composició i estructura de les comunitats algals.

Per a testar la significació de les diferències en l'abundància de cada espècie entre les tres situacions experimentals a les Illes Medes i la costa del Montgrí s'han realitzat anàlisis de la variància (ANOVA) de les cobertures.

Hem realitzat una anàlisi de MDA (Non-Metric Multi-Dimensional Scaling) a partir de matrius de similaritat calculada amb distàncies euclídiades, per ordenar tant les estacions com les espècies en l'espai definit pels tres eixos que explicaven més variància. Aquesta anàlisi es basa tant en les distàncies entre objectes com en la seva correlació, de forma que ens permet trobar les

dimensions més significatives per a ordenar els objectes en un espai creat per dos (o més) eixos. L'anàlisi de la bondat de l'ajust d'aquest mètode es fa amb la mesura de Stress, calculada a partir de la ordenació de les distàncies reproduïdes i del nombre d'eixos representats. Quant menor sigui el valor d'aquesta mesura millor serà l'ajust de les distàncies reproduïdes en l'anàlisi a les distàncies reals dels objectes analitzats (es consideren bones les anàlisis que mostren ajustos amb valors de Stress per sota de 0,2).

A més, per tal d'ajudar a la descripció de les agrupacions resultants de cada anàlisi hem dut a terme anàlisis de Cluster (Hierarchical Cluster analysis) utilitzant distàncies euclídiades. Aquesta anàlisi ens permet calcular les distàncies relatives que separen les variables que estudiem (espècies o localitats). Per al calcul d'aquestes anàlisis s'ha

Taula 2. Comunitats algals. Seguiment 2001. Resultats dels anàlisis ANOVA de les espècies d'algues estudiades per a les diferents situacions experimentals. La columna S indica el sentit de les diferències: 1 = Medes > Costa, 2 = Medes < Costa, A = 5m > 10m, B = 5m < 10m.

	Medes vs. Costa					5 m vs. 10 m				
	df	MS	F	p	S	df	MS	F	p	S
Chlorophyta										
<i>Codium bursa</i>	1	2691,25	15,85	<0,01	2	1	3105,02	18,43	<0,01	B
<i>Codium effusum</i>	1	3,88	0,14	0,708		1	516,57	19,86	<0,01	B
<i>Codium vermilara</i>	1	34002,30	174,07	<0,01	2	1	3449,51	11,74	<0,01	B
<i>Flavellia petiolata</i>	1	242,35	9,32	<0,01	1	1	613,38	24,73	<0,01	B
<i>Halimeda tuna</i>	1	30,67	1,35	0,247		1	82,08	3,63	0,06	
Phaeophyta										
<i>Cladostephus spongiosus</i>	1	1,57	0,64	0,423		1	1,07	0,44	0,51	
<i>Colpomenia sinuosa</i>	1	0,17	0,01	0,939		1	638,67	24,30	<0,01	B
<i>Cystoseira compressa</i>	1	73,05	6,73	<0,01	1	1	131,33	12,31	<0,01	B
<i>Cystoseira sp.</i>	1	7675,50	58,66	<0,01	1	1	8,85	0,06	0,81	
<i>Cystoseira zosteroides</i>	1	2,81	1,34	0,247		1	4,00	1,91	0,17	
Dictiotals	1	14365,12	50,58	<0,01	1	1	187,54	0,57	0,45	
<i>Halopteris sp.</i>	1	8747,84	19,09	<0,01	1	1	1945,34	4,05	0,04	
<i>Padina pavonica</i>	1	433,18	2,41	0,122		1	2124,09	12,17	<0,01	A
Rhodophyta										
<i>Asparagopsis armata</i>	1	20214,14	74,70	<0,01	1	1	6622,36	21,06	<0,01	B
<i>Bonemaïsonia asparagoides</i>	1	2109,62	21,29	<0,01	1	1	3695,76	39,32	<0,01	B
<i>Corallina elongata</i>	1	1331,96	2,40	0,122		1	61580,37	171,13	<0,01	A
<i>Jania sp.</i>	1	540,74	1,10	0,296		1	40902,90	112,90	<0,01	B
<i>Laurencia obtusa</i>	1	1,89	0,01	0,903		1	8204,22	81,22	<0,01	A
<i>Litophyllum incrustans</i>	1	10979,69	66,45	<0,01	2	1	3,13	0,02	0,90	
<i>Mesophilum lichenoides</i>	1	18500,58	112,70	<0,01	2	1	25,84	0,12	0,73	
<i>Peisonellia sp.</i>	1	495,89	5,21	0,023	2	1	1975,81	21,88	<0,01	B
<i>Sphaerococcus coronopifolius</i>	1	10101,46	32,30	<0,01	2	1	10800,91	34,79	<0,01	B
<i>Wrangelia penicillata</i>	1	8449,92	82,08	<0,01	2	1	2502,54	20,49	<0,01	B
Categories										
Erectes	1	289,18	4,37	0,037	1	1	302,34	4,57	0,03	A
Gespes	1	5543,76	12,54	<0,01	2	1	1878,68	4,14	0,04	A
Blancall	1	3402,35	44,01	<0,01	2	1	259,17	2,96	0,09	B

utilitzat el programa informàtic PRIMER© Finalment hem fet una anàlisi de CCA (Canonical Correspondence Analysis) per tal de veure quina és la relació que s'estableix entre les espècies i les estacions d'una banda, i la insularitat (Illes Medes -vs- costa), la protecció (Medes AMP totalment protegida, costa del Montgrí AMP parcialment protegida i costa del Montgrí no AMP no protegida) i la profunditat (5 i 10 m), com a variables ambientals. El diagrama resultant d'aquesta anàlisi ens representarà el principal patró de variació en la composició de les comunitats segons les dades ambientals, així com la distribució de les espècies en relació amb aquestes variables (Ter Braak, 1986). Per a fer aquesta anàlisi s'ha utilitzat el programa CANOCO (Ter Braak, 1988).

RESULTATS

Els resultats dels mostreigs es resumeixen a la Taula 1, on es mostren els percentatges de cobertura de cada espècie d'alga, segons la seva situació (Medes o Costa) i la seva profunditat (5 i 10 m). La Taula 2 mostra els resultats de l'anàlisi de la variància sobre les densitats de cada espècie en cada situació, així com el sentit de les diferències en cada espècie (dada que serà interessant de contrastar a l'hora d'interpretar les anàlisis posteriors).

L'anàlisi de Cluster (Figura 2) ens mostra un patró d'agrupació de les espècies en el que les Dictiotals i *Corallina elongata* surten aïllades de la resta. Un segon grup format per *Jania sp.*, *Halopteris sp* i *Padina pavonica* també queda

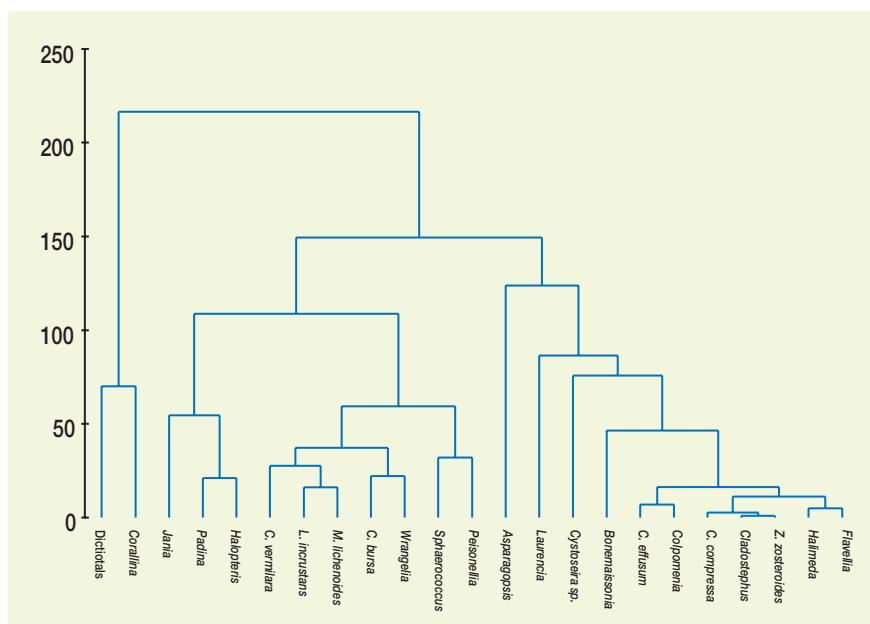


Figura 2. Comunitats algues. Seguiment 2001. Representació de l'anàlisi Cluster per a les diferents espècies d'algues estudiades. L'eix vertical representa el percentatge de similitud entre les diferents espècies relacionades pel diagrama.

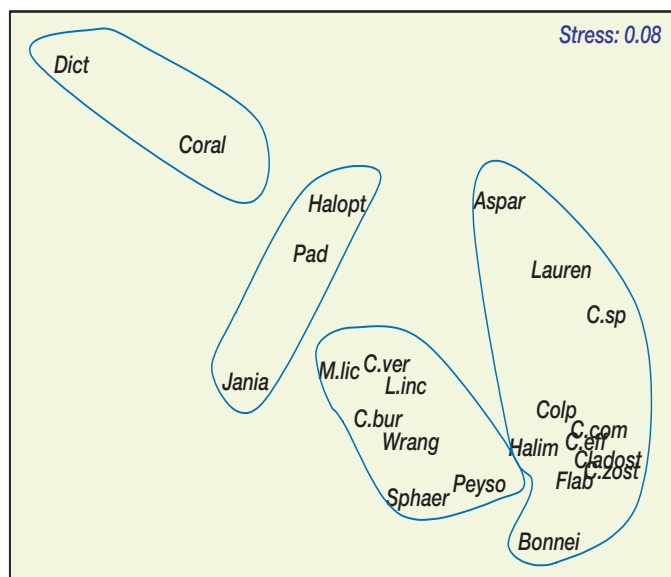


Figura 3. Comunitats algues. Seguiment 2001. Representació de l'anàlisi MDA (Non-Metric Multi-Dimensional Scaling) per a les diferents espècies d'algues estudiades. S'ha dibuixat la traça que agrupa les diferents espècies segons les agrupacions de l'anàlisi Cluster, tal com indica el text. Llegendes: C.bur = Codium bursa, C.ef = Codium effusum; C.ver = Codium vermilera, Flab = Flabellia petiolata, Halim = Halimeda tuna, Cladost = Cladostephus hirsutus, Colp = Colpomenia sinuosa, C.com = Cystoseira compressa, C.sp = Cystoseira sp., C.zost = Cystoseira zosteroides, Dict = Dictiotals, Halopt = Halopteris sp., Pad = Padina pavonica, aspar = Asparagopsis armata, Bonne = *Bonemaissonia asparagoides*, Coral = Corallina elongata, Jania = Jania sp., Lauren = Laurencia obtusa, L.inc = Litophyllum incrustans, M.lic = Mesophyllum lichenoides, Peyso = Peysonellia sp., Sphaer = Sphaerococcus coronopifolius, Wrang = Wrangelia penicillata.

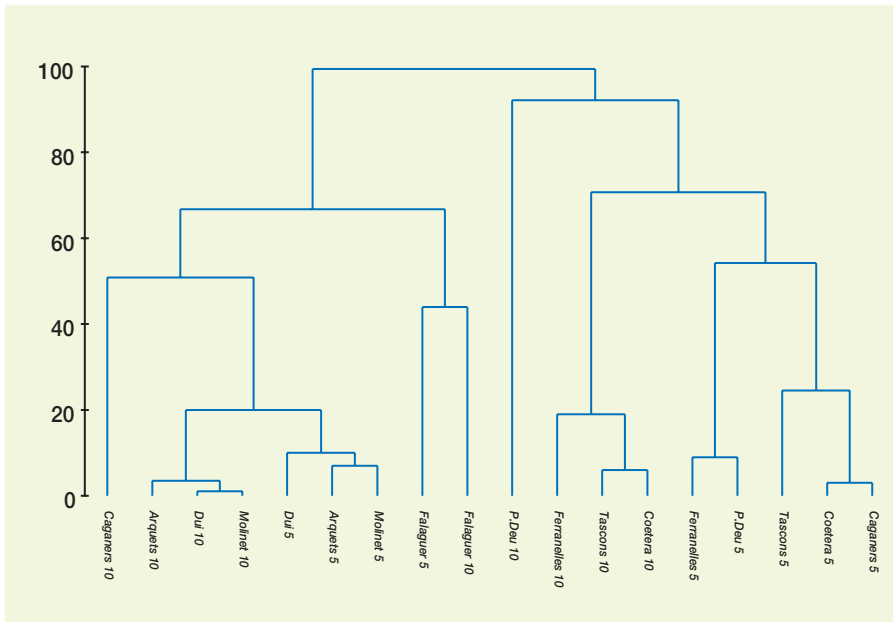


Figura 4. Comunitats algals. Seguiment 2001. Representació de l'anàlisi Cluster per a les diferents estacions de mostreig. L'eix vertical representa el percentatge de similitud entre les diferents espècies relacionades pel diagrama.

aïllat, però a una distància més pròxima dels dos grups restants. Un d'aquests grups està format per totes les espècies que, segons les anàlisis ANOVA de la Taula 2, presenten més cobertura a la Costa del Montgrí, mentre que l'altre agrupa la resta d'espècies.

L'anàlisi MDA per a les espècies (Figura 3) ens mostra un altre cop aquestes agrupacions, ja que les Dictiotals i *Corallina elongata* queden molt aïllades, seguides pel grup format per *Jania sp*, *Padina pavonica* i *Halopteris sp.*; mentre que el grup de les espècies més abundants i el de la resta d'espècies queden més propers, encara que suficientment aïllats entre ells.

Així com trobem que hi ha un patró clar en la distribució de les espècies que són més abundants a la costa del Montgrí, no veiem que hi hagi un

patró clar en l'agrupació de les diferents espècies segons la fondària. El valor de Stress d'aquest anàlisi ens dona una bona significació.

L'anàlisi de Cluster per a les estacions (Figura 4) mostra que hi ha un cert patró en l'agrupació de les estacions, tant pel que fa a la seva situació geogràfica com a la fondària; en canvi, no mostren cap pauta clara d'agrupació segons el grau de protecció. Així, els dos grups d'estacions protegides que es troben, respectivament, a les Illes Medes i els de la costa del Montgrí estan molt distanciats, exceptuant l'estació dels Caganers 10 metres, que queda dins el grup de les estacions de la Costa. Dins el grup de les estacions de les Illes Medes hi ha una completa barreja de les estacions de les dues diferents fondàries, 10 metres i 5 metres

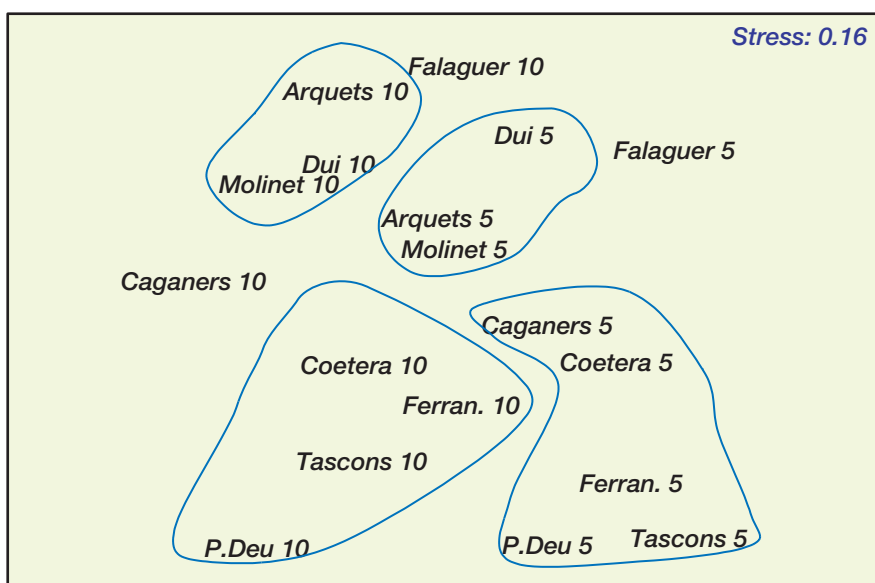
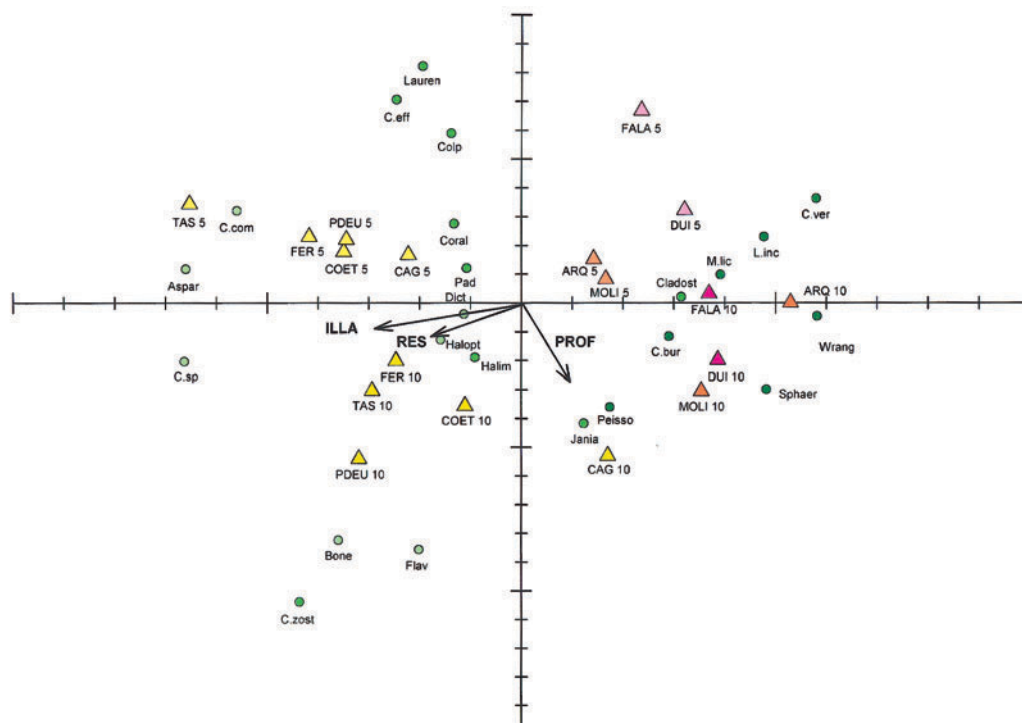


Figura 5. Comunitats algals. Seguiment 2001. Representació de l'anàlisi MDA (Non-Metric Multi-Dimensional Scaling) per a les diferents estacions de mostreig. S'ha dibuixat la traça que agrupa les diferents estacions segons les agrupacions de l'anàlisi Cluster, tal com indica el text.

Figura 6. Comunitats algals. Seguiment 2001. Distribució de les espècies a les diferents estacions estudiades a la costa del Montgrí i les Illes Medes. Diagrama de ordenació de l'Anàlisi Canònic de Correspondències (CCA) amb les diferents espècies (○), estacions (△) i variables ambientals (fletxes); el primer eix és l'horitzontal i el segon, el vertical. El nom de les espècies són: *C.bur* = *Codium bursa*, *C.ef* = *Codium effusum*; *C.ver* = *Codium vermilara*, *Flab* = *Flabellia petiolata*, *Halim* = *Hali-medea tuna*, *Cladost* = *Cladostephus hirsutus*, *Colp* = *Colpomenia sinuosa*, *C.com* = *Cystoseira compressa*, *C.sp* = *Cystoseira sp.*, *C.zost* = *Cystoseira zosteroides*, *Dict* = *Dictyota*, *Halopt* = *Halopteris sp.*, *Pad* = *Padina pavonica*, *aspar* = *Asparagopsis armata*, *Bonne* = *Bonemaissonia asparagoides*, *Coral* = *Corallina elongata*, *Jania* = *Jania sp.*, *Lauren* = *Lauren-cia obtusa*, *L.inc* = *Litophyllum incrustans*, *M.lic* = *Mesophilum lichenoides*, *Peypo* = *Peysonellia sp.*, *Sphaer* = *Sphaerococcus coronopifolius*, *Wrang* = *Wrangelia penicillata*. El nom de les localitats són: TAS 5 = Tascons 5m, TAS 10 = Tascons 10m, FER 5 = Ferranelles 5m, FER 10 = Ferranelles 10m, FER 10 = Ferranelles 10m, CAG 5 = Caganers 5m, CAG 10 = Caganers 10m, PDEU 5 = Pedra de Deu 5m, PDEU 10 = Pedra de Deu 10m, COET 5 = Coetera 5m, COET 10 = Coetera 10m, MOLI 5 = Molinet 5m, MOLI 10 = Molinet 10m, ARQ 5 = Arquets 5m, ARQ 10 = Arquets 10m, DUI 5 = Dui 5m, Dui 10 = Dui 10m, FALA 5 = Falaguer 5m, FALA 10 = Falaguer 10m. Les variables ambientals són: ILLA = Costa del Montgrí o Illes Medes, RES = grau de protecció, PROF = Profunditat.



(excepte Pedra de Déu 10 metres, que queda aïllada dels dos grups). En el grup de les estacions de la costa passa el mateix per a tres de les quatre localitats (Arquets, Dui i Molinet), mentre que les dues estacions de la quarta (Falaguer) queden aïllades.

L'anàlisi MDA confirma clarament aquest patró per a les diferents estacions de mostreig, ja que es pot observar una agrupació clara de les estacions segons estiguin a les Illes Medes o la costa del Montgrí, i segons les dues profunditats estudiades (Figura 5).

L'anàlisi CCA, en la que s'han introduït la insularitat, grau de protecció i profunditat com a variables, mostra un patró de distribució molt semblant als dels resultats anteriors, tant per a les espècies com per a les estacions (Figura 6). Veiem que les dues variables ambientals que hem introduït no difereixen molt pel que fa a la seva importància a l'hora d'ordenar tant les espècies

com les estacions (la llargada de les fletxes dona idea de la importància relativa de cada variable) (Taula 3). La presència dels nous eixos generats per la insularitat, el grau de protecció i la profunditat sembla que ajuda a ordenar encara més la distribució de les estacions i la de les espècies (Taula 4). Veiem que els eixos de insularitat i protecció no difereixen molt; tanmateix, l'efecte de la zona (insularitat) té més importància que l'efecte de la protecció a l'hora d'ordenar les estacions i espècies.

Taula 3. Comunitats algals. Seguiment 2001. Percentatge de variància i correlació espècies-ambient per als tres primers eixos de l'anàlisi canònic de correspondències (CCA), (Fig. 5).

Eix	% variància acumulada		
	1	2	3
Espècies	21.1	36.8	41.1
Relació ambient-espècies	51.2	89.5	100

Taula 4. Comunitats algals. Seguiment 2001. Coeficients canònics i correlació entre les variables ambientals i els dos primers eixos de l'anàlisi canònic de correspondències (CCA), (Fig. 5).

Variable / Eix	Coeficients canònics			Coeficients de correlació		
	1	2	3	1	2	3
Insularitat	-0.566	-0.057	-0.332	-0.866	-0.293	-0.097
Protecció	-0.021	-0.191	0.487	-0.529	-0.370	0.535
Profunditat	0.213	-0.517	-0.100	0.291	-0.828	-0.186

Pel que fa a les agrupacions de les espècies, si bé difereixen una mica del MDA, es pot seguir observant una agrupació de les més abundants a la costa del Montgrí. *C. zosteroïdes*, *Bonemaissonia asparagoides* i *Flabellia petiolata* queden força aïllades, ja que es varen trobar en relativament poques estacions. Les estacions segueixen la mateixa agrupació que en les anàlisis anteriors, i s'ordenen segons els eixos generats per les variables ambientals.

DISCUSSIÓ

Aquest treball és l'inici de una sèrie temporal de seguiment de les comunitats algals de les Illes Medes i la costa del Montgrí. Per tant, aquest estudi no té sentit en sí mateix, sinó que s'ha de considerar com a punt de partida, o punt 0, per a poder determinar els canvis que es puguin esdevenir en un futur. En canvi, de cara a garantir la contundència d'interpretacions futures resulta de la màxima importància determinar la magnitud de les diferències espacials en aquesta situació de partida.

És per això que s'ha fet un especial èmfasi en assajar diferents anàlisis, que en certa manera són redundants, per tal d'assegurar-nos una bona comprensió de quina és la situació actual d'aquestes comunitats, i els patrons espacials que presenten.

Els resultats obtinguts ens mostren un patró que confirmen les hipòtesis inicials sobre la importància de la fondària i esvaeixen qualsevol esperança d'homogeneïtat de partida entre les situacions comparades.

L'efecte de la profunditat, que era el més esperat, es mostra clarament en la distribució de les comunitats algals, tant a la costa del Montgrí com a les Illes Medes. Així hem vist que aquest factor és important a l'hora d'ordenar tant les estacions com les espècies.

Però el que sorprèn més d'aquest resultat són les diferències tan marcades que existeixen entre les comunitats de les Illes Medes i les de la costa

del Montgrí, indiferentment de si considerem la zona protegida o l'àmbit de fora de la reserva.

En un principi i a benefici de les hipòtesis que ja hem plantejat, aquestes diferències es podrien atribuir als efectes tròfics en cascada resultants de la prohibició de la pesca a la zona protegida de les Illes Medes, a la ineficaç protecció de la zona parcialment protegida i a l'expoli de les poblacions de peixos de la costa no protegida del Montgrí. Segons la hipòtesi de les cascades tròfiques descrita al capítol de garotes, la gran abundància de peixos depredadors de garotes dins la AMP faria que aquestes siguin menys abundants i que estiguin més temps amagades en refugis, provocant una disminució de la pressió d'herbivoria. La substitució gradual dels grups morfològics de les algues erectes, les gespes i els blancalls pot respondre a aquest patró. Els models actuals que expliquen les dinàmiques de les comunitats algals i els seus herbívors al Mediterrani (Verlaque, 1987; Sala, 1996) descriuen aquests grups morfològics com representatius, respectivament, de comunitats ben desenvolupades (algues erectes), d'estadis intermitjos (gespes) i d'estadis de sobrepastura (blancalls).

A nivell d'espècies, podríem atribuir a l'herbivoria les majors cobertures de *Cystoseira n. sp.* o *A. armata* a les Illes Medes; tal com va descriure Sala (1996), l'abundància de la darrera espècie pot respondre a diferències en la pressió d'herbivoria per peixos. També podríem atribuir a l'herbivoria la major abundància de *M. lichenoides* i *L. incrustans* (les algues que formen els blancalls) a la costa del Montgrí.

Però volem ser molt cautes en donar aquesta explicació a les diferències trobades, ja que hem vist que l'efecte de la insularitat *per se* (quan aïllada de l'efecte de la protecció) és molt important, i sospitem que poderoses diferències topogràfiques, hidrogràfiques o simplement històriques (diferents de la recent protecció) poden estar enmascarades darrera els suposats efectes en cascada de la protecció de la pesca. Les Illes Medes estan situades unes dos milles mar enfora, més

exposades a corrents i sistema general de desplaçament de les masses d'aigua, per a les quals constitueixen un obstacle. Aquesta situació especial pot crear que els corrents o els afloraments d'aigües més fondes riques en nutrients puguin crear condicions suficientment diferents de la costa del Montgrí com per explicar el canvi en les comunitats. Aquest "efecte illa" es pot observar també en altres espècies que depenen de les condicions de l'aigua, com les gorgònies o el corall vermell, que formen poblacions més abundants en zones exposades del perímetre insular.

A més de les diferències ambientals poden haver causes històriques que puguin afectar aquestes distribucions. Els canvis en les comunitats són canvis molt lents, governats per processos dotats de molta inèrcia, que poden produir-se i perllongar-se durant molt temps.

Vist tots aquests factors, creiem que l'efecte de la insularitat i de factors difosos, que són de difícil determinació, associats a aquesta insularitat són la causa principal del patró trobat en aquest primer estudi de les comunitats algals. Una de les raons que ens ajuden a decantar-nos per aquesta significació alternativa són les poques diferències que hem trobat entre els sectors protegit i no protegits de la costa del Montgrí. Si els efectes tròfics deguts a la protecció fossin tant evidents, caldria esperar diferències entre els dos trams de costa malgrat la ineficiència de la protecció de la costa del Montgrí. Però la similitud en la composició algal entre els dos trams de costa i les diferències evidents entre la costa protegida i les Illes Medes, ens fan pensar que la insularitat és un factor més potent que les diferències causades pels efectes tròfics en cascada derivats de la prohibició de la pesca.

Afortunadament, aquestes incògnites es resoldran quan s'aconsegueixi una bona sèrie temporal. El seguiment temporal d'aquestes comunitats ens permetrà comparar les seves trajectòries, molt més interpretables que uns simples valors estàtics (Underwood, 1994, 1997). A més, l'estudi paral·lel de l'evolució de les densitats de peixos i de garotes, els agents implicats en les cascades tròfiques, permetrà establir l'existència de correlacions entre els tres grups, i testar si aquest efecte tròfic es produeixen tal com està descrits i en mantenen al llarg del temps.

BIBLIOGRAFIA

- Ballesteros, E. 1984. *Els vegetals i la zonació litoral: espècies, comunitats i factors que influeixen en la seva distribució*. Tesi doctoral, Universitat de Barcelona, 587 pp.
- Ballesteros E, Polo, Ll., Romero, J. (1984). Vegetació submarina de les Illes Medes. I. Algues. A Ros, J., Olivella, I., Gili, JM. (eds.) (1984). *Els sistemes naturals de les Illes Medes*. Institut d'Estudis Catalans, Barcelona. p: 333-371.
- Dizerbo, AH. (1955). Observations sur les algues de la côte du Massif de Torroella de Montgri, pres de l'Estartit (Catalogne). *Coll. Bot.*, 4(3): 245-252.
- Feldmann, J. (1937). Recherches sur la végétation marine de la Méditerranée. La côte des Alberes. *Wolf.Rouen.*, 399 pp
- Johnston, CS. (1969). Studies on the ecology and primary production in Canary Islands marine algae. *Proceed.in Seaweed Symp.*, 6: 213-222.
- Kempf, M. (1962). Recherches d'écologie comparée sur *Paracentrotus lividus* (Lmk) et *Arbacia lixula* (L). *Rec. Trav. St. Mar. Endoume*, 25(39) : 47-115.
- Meinesz, A., Cottalorda J.-M., Chiavérini D., Cassar N. And Vaugelas, J. De (eds.) (1997). Suivi de l'invasion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée: situation au 31.12.1997. Marseille. 237 pp.
- Meinesz, A., *Killer algae. The true tale of a biological invasion*. The University of Chicago Press, Chicago.
- Nargele, E., Naegele, A. (1961). *Les algues*. Press. Univ. France Paris.
- Odum, ED., De La Cruz, AA. (1963). Detritus as major component of ecosystems. *Aibs. Bull.*, 13: 39-40.
- Ollivier, G. (1929). Étude de la flore marine de la côte d'Azur. *Ann. Ins. Oceanogr.*, 7(3): 53-173.
- Peres, J. M. and J. Picard (1963). Aperçu sommaire sur les peuplements marins benthiques entourant l'île de Port-Cros. *Terre vie*, 110(4): 436-448.
- PRIMER 5 v.5.2.2 M.R. Carr and K.R. Clarke, Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, UK.
- Riedl, R. (1966). Biologie der Meereshöhnel. *Paul Parey, Hamburg.*,
- Ros, J., Olivella, I., Gili, JM. (eds) (1984). Els sistemes naturals de les Illes Medes. Institut d'Estudis Catalans, Barcelona.
- Ros, J., J. Romero, E. Ballesteros and JM. Gili (1985). Diving in Blue Water: the Benthos. In: R. Margalef (ed.), *The Western Mediterranean*. Key Environmental Series. Pergamon, London., pp. 233-235.
- Rull, J. and A. Gomez-Garreta (1989). Distribución de las algas epifitas sobre los ejemplares de *Cystoseira mediterranea* Sauvageau. *Anales Jard.Bot.Madrid*, 46: 99-106.
- Sala, E. (1996). *The role of fishes in the organization of a Mediterranean subtidal community*. Tesi Doctoral, Univ. Aix-Marseille II, França.

- Sala, E. and C. F. Boudouresque (1997). The role of fishes in the organization of a Mediterranean sublittoral community I: Algal communities. *J. Exper. Mar. Biol. Ecol.*, 212 : 25-44.
- Sala, E. (1997). The role of fishes in the organization of a Mediterranean sublittoral community II: Epifaunal communities. *J. Exper. Mar. Biol. Ecol.*, 212: 45-60.
- Sala, E. and E. Ballesteros (1997). Partitioning of space and food resources by three fish of the genus *Diplodus* (Sparidae) in a Mediterranean rocky infralittoral ecosystem. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 152 : 273-283.
- Ter Braak, K.F. (1986) Canonical correspondence analysis: a new eigeninvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67 (5): 1167-1179.
- Ter Braak, K.F. (1988). CANOCO: an extension of DECORANA to analyze species-environment relationship. *Vegetatio*, 75: 159-160.
- Underwood, A. (1994). On beyond BACI: sampling designs that might reliably detect environmental disturbances. *Ecol. Appl.*, 4: 3-15.
- Underwood, A. (1997). *Experiments in Ecology. Their logical design and interpretation using analysis of variance*. Cambridge University Press.
- Verlaque, M. (1987). Relations entre *Paracentrotus lividus* (Lamrk) et le phytobenthos de Méditerranée occidentale. *Colloque international sur Paracentrotus lividus et les oursins comestibles.*, 5-36.