



21. El mar i les costes catalanes ja noten l'efecte del canvi climàtic

Joandomènec Ros,
Universitat de Barcelona

Introducció

A les incerteses associades de manera general als efectes del canvi climàtic sobre els ecosistemes, al mar se n'hi afegeixen altres, relacionades amb les característiques dels oceans respecte de les masses continentals. Efectivament, l'impacte del canvi climàtic en el medi marí és difícil d'establir perquè, per començar, l'ambient marí ens és encara molt menys conegut que el terrestre; pel que fa a les sèries temporals de temperatures, per exemple, rarament es remunten a més de tres dècades i en general estan limitades a aigües costaneres.

A això cal sumar-hi que les característiques físiques, els equilibris químics i les respostes biològiques dels oceans estan subjectes a dinàmiques que s'estenen per bona part de l'oceà mundial (cal recordar aquí la «cinta transportadora oceànica»; Broecker, 1991), des de la superfície fins al fons i per un medi que té una inèrcia (tèrmica, per exemple) notable. Al mateix temps, amb prou feines comencem a conèixer la dinàmica de fenòmens a macroescala oceànica, com és el cas d'*El Niño*, o el funcionament d'àrees no prou estudiades fins ara, com ara l'oceà Austral i l'Antàrtida. Per acabar-ho d'adobar, s'hi afegeixen sinèrgicament els efectes d'altres impactes antròpics que poden emmascarar o potenciar alguns d'aquests efectes, des de la contaminació fins a la sobrepesca.

Tot i així, ja comencem a tenir prou indicis, i en alguns casos certes (Levitus *et al.*, 2000; Duarte i Tintoré, 2001; Cicerone *et al.*, 2004; Harley *et al.*, 2006), que l'impacte del canvi climàtic es deixa sentir al mar i que els efectes són encara més variats, impactants i preocupants del que es preveia fa tres lustres (Fields *et al.*, 1993). Hom passarà una breu revista a aquests efectes, tant a escala oceànica global com pel que fa al Mediterrani, tot distingint separadament aquells que afecten bàsicament el medi físic i el paisatge d'aquells que generen impactes sobre els organismes i les comunitats que aquests organismes formen; essent, però, de naturalesa física el mateix canvi climàtic, ambdós grups d'efectes es reforcen mútuament o es confonen: un augment del nivell del mar no tan sols causa canvis en la línia de costa, sinó que també ho fa en les espècies i les comunitats litorals, i els canvis en la distribució i l'abundància relativa de determinades espècies es traslladen per tota la xarxa tròfica i incideixen immediatament en l'aspecte del paisatge litoral i marí.

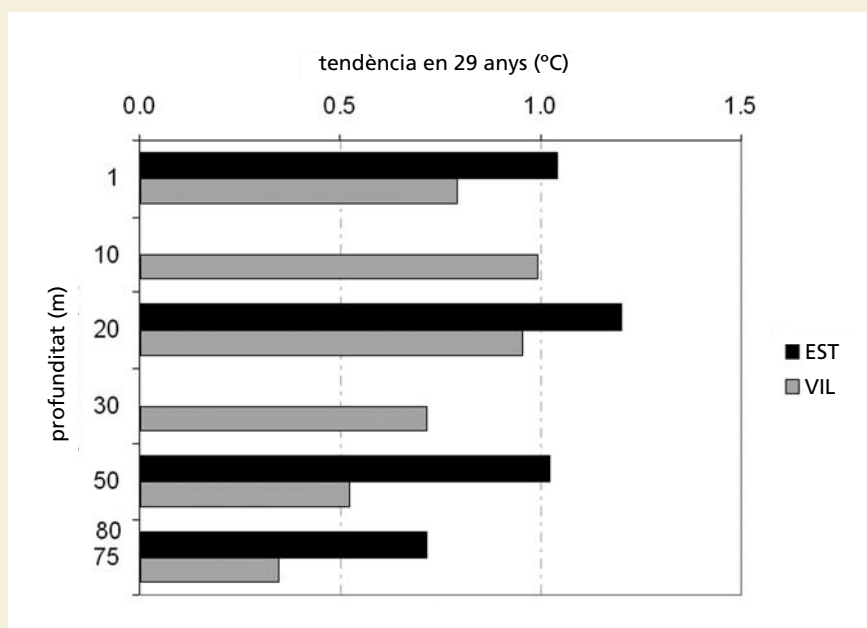
Alteracions sobre el medi físic i el paisatge

Temperatura

Malgrat la manca de sèries llargues de temperatures en gairebé tots els mars, s'ha pogut establir que en el darrer mig segle les aigües oceàniques superficials (entre 0 i 300 m de profunditat) han experimentat un augment mitjà de 0,31 °C (Parrilla *et al.*, 1994; Gouretski i Koltermann, 2007; MacKenzie i Schiedek, 2007). Al nord del Mediterrani occidental, tres sèries de dades (de l'Estartit, l'illa del Levant, a les illes de Ieras, i Vilafranca de Mar, aquestes dues darreres a la costa francesa) es remunten a una mica més de trenta anys, i són les més extenses que hi ha (Francour *et al.*, 1994; Romano *et al.*, 2000; Salat i Pascual, 2006). El resum del que indiquen és clar: en aquest terç de segle, la temperatura de les aigües superficials del Mediterrani occidental septentrional ha augmentat al voltant d'1 °C de mitjana; l'augment més gran s'ha donat cap als 20 m de fondària (1,2 °C), i àdhuc a les aigües situades a 80 m la temperatura ha augmentat uns 0,7 °C (figura 1). En vista de la gran inèrcia

tèrmica del mar, en especial en aigües profundes, l'efecte de l'escalfament és notable i els seus impactes poden ser molt importants, tant pel que fa a l'augment de volum de la massa d'aigua i a la disminució de la densitat de l'aigua del mar (i al seu paper en la circulació geostrofica), com pel que fa a la fisiologia, la fenologia, l'ecologia i la distribució dels organismes marins (vegeu l'apartat 2).

Figura 1. Augment de la temperatura de l'aigua a diferents profunditats en dues localitats del Mediterrani nord-occidental, l'Estartit (EST) i Vilafranca de Mar (VIL, Alps Marítims), al llarg de gairebé un terç de segle (Font: Salat i Pascual, 2006).



pH

Al mar, el pH és lleugerament alcalí i força constant, entre 8 i 8,3, i només hi ha desviacions d'aquest rang depenent de la variació de la concentració de diòxid de carboni i d'oxigen: en aigües superficials ben il·luminades, quan hi ha poc CO_2 (perquè és usat per les algues com a matèria primera per a la fotosíntesi) i molt O_2 (produït per aquestes plantes), el pH pot pujar lleugerament, fins a 9, i alcalinitzar l'aigua de mar. En aigües pregones, on la matèria orgànica produïda en superfície es va descomponent, i en fer-ho consumeix oxigen, el pH pot baixar fins a 7,6. Aquesta gama no és tan extensa com en les aigües continentals.

El pH depèn de la quantitat de CO_2 de l'aigua, en equilibri amb la de l'atmosfera. El diòxid de carboni es dissol bé en aigua (on la seva concentració és unes mil vegades més gran que a l'atmosfera), formant-hi àcid carbònic, que es dissocia ràpidament en ió bicarbonat i, si les condicions són alcalines, en carbonat, alliberant hidrogenions en cada cas; el carbonat, en condicions més àcides, retorna a bicarbonat; és el sistema carbònic-carbonats, responsable de l'equilibri dinàmic del carboni dissolt. Si, assolit un determinat equilibri, la quantitat de CO_2 augmenta en l'aigua, creix l'acidesa (la concentració d'hidrogenions) i immediatament s'afavoreix que els hidrogenions es combinin amb els carbonats i hi hagi pas de carbonat a bicarbonat, i de bicarbonat a àcid carbònic. Si la quantitat de diòxid de carboni disminueix, el sistema ho compensa descomponent bicarbonat a carbonat més hidrogenions i mantenint l'equilibri.



L'alcalinitat o acidesa de les aigües naturals té importància perquè en depèn l'equilibri entre precipitació i dissolució d'alguns compostos, i la capacitat de la mateixa aigua per mantenir l'equilibri pel que fa a la dissociació iònica, la capacitat tampó. Quan el carbonat de calci precipitat (en forma de calcita o aragonita) en la closca d'un mol·lusc o d'un crustaci, o en l'esquelet d'una madrèpora coral·lina, passa a bicarbonat, l'estructura es dissol. La capacitat de mantenir en les aigües estructures esqueletiques a base de carbonat depèn, doncs, del pH. En certes condicions naturals (aigües fredes, polars o pregones), és difícil formar closques o esquelets calcaris: no hi ha coralls polars o abissals, els mol·luscs no tenen conquilla o la tenen prima (o tova), etc. La situació és exactament la contrària per als esquelets formats per silici: en aquests casos, les aigües fredes afavoreixen la precipitació de silicats, i les càlides, la dissolució.

Com a conseqüència de l'increment antròpic de la concentració de CO₂ a l'atmosfera, també ha augmentat l'entrada d'aquest gas al mar, i l'ha començat a acidificar, entre 0,1 i 0,3 de pH (Caldeira i Wickett, 2003; Sabine *et al.*, 2004; Orr *et al.*, 2005; Blackford i Gilbert, 2007; Gazeau *et al.*, 2007). Si no es fa res per reduir l'entrada de CO₂ als oceans, el pH de l'aigua de mar es pot reduir en 0,5 unitats en acabar el segle XXI (Royal Society, 2005). (El mateix escalfament de l'aigua de mar està alentint l'entrada de més CO₂ als oceans, ja que la solubilitat d'aquest gas i altres és funció inversa de la temperatura; Lefèvre *et al.*, 2004.)

L'acidificació de l'aigua del mar pot comportar un trasbalsament enorme per a molts organismes d'una gran importància ecològica i econòmica. Entre els planctònics, cal assenyalar les cocolitoforals, els foraminífers i els pteròpodes (unes de les menges preferides de les balenes; Riebesell *et al.*, 2004). Molts organismes bentònics, mol·luscs, crustacis i equinoderms, entre altres, tenen esquelets calcaris (Bibby *et al.*, 2007; Gazeau *et al.*, 2007; Miles *et al.*, 2007). Però potser els més afectats seran els coralls formadors d'esculls, en especial els d'aigües superficials i càlides (Hughes *et al.*, 2003; Baker *et al.*, 2004; Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007; Turley *et al.*, 2007; Fine i Tchernov, 2007; NOAA, 2008). Els seus esquelets, que les algues simbiotes que tenen ajuden a construir, tindran dificultats per mantenir-se intactes en aigües més àcides, i la gran biodiversitat que hostatgen els esculls coral·lins també en sortirà força malmesa.

Alguns d'aquests efectes ja s'han començat a notar en alta mar, per bé que amb resultats contradictoris (darrerament hi ha indicacions que les aigües més àcides afavoreixen la proliferació de cocolitoforals; Iglesias-Rodríguez *et al.*, 2008), i tant els experiments de laboratori com l'estudi de forts gradients de pH naturals (al voltant de surgències de gasos en fons de regions volcàniques del Mediterrani; Hall-Spencer *et al.*, 2008) indiquen un impacte evident sobre algues calcàries, madreporaris i equinoderms, entre altres.

Determinades comunitats mediterrànies dependents d'organismes calcificats (el *trottoir* mediolitoral de *Lithophyllum byssoides* i, molt especialment, la comunitat circalitoral del coral·ligen; Ros *et al.*, 1985; Ballesteros, 2006) poden resultar molt afectades. Hom no creu que la capacitat tampó de l'oceà pugui quedar afectada a mitjà termini.

Nutrients

El canvi climàtic no ha d'implicar per si mateix variacions en la quantitat de nutrients al mar i al litoral, però alguns processos generats o afavorits per aquest canvi poden comportar modificacions en el règim habitual d'aportació de nutrients i, per tant, en la producció primària; el mateix descens del pH pot mobilitzar determinades formes iòniques rares a l'alcalinitat normal de l'oceà. En els escenaris d'augment del nivell del mar (vegeu l'apartat 1.6), hom pot imaginar que força comunitats litorals, tant submergides (herbeis de fanerògames, etc.) com emergides (vegetació de maresmes, etc.), patiran reducció de la radiació incident (en el límit inferior de les primeres) i/o immersió continuada (les segones), la qual cosa haurà d'afavorir la mort de les plantes constituents i la descomposició de la matèria orgànica, amb l'alliberament consegüent de nutrients.

El ritme a què això succeirà, però, serà prou lent perquè no comporti cap impacte notable, i el mateix es pot dir dels episodis de pluges torrencials, que podran implicar revingudes més freqüents i aportació de sediments i nutrients al litoral. Un altre aspecte, encara poc estudiat, és el paper que poden tenir els organismes fixadors de nitrogen atmosfèric en un oceà més ric en diòxid de carboni; les primeres indicacions apunten un augment de l'entrada de nitrogen al mar (Barcelos e Ramos *et al.*, 2007; Levitan *et al.*, 2007). De la mateixa manera que s'ha pogut establir en comunitats terrestres, per al bacterioplàncton i el fitoplàncton marins l'augment de temperatura implica un consum més gran de diòxid de carboni i d'oxigen (Vázquez-Domínguez *et al.*, 2007), de manera que no és clar que la producció primària total dels oceans i del Mediterrani en concret es pugui beneficiar d'aquest increment de CO₂, de nitrogen fixat i (si és cert que augmentaran els episodis de vents del sud, amb càrrega de pols sahariana; vegeu l'apartat 1.4) de fòsfor i de ferro.

És segur que un augment del ritme de desglaç dels casquets de glaç polar i una freqüència més elevada de despreniment d'icebergs augmentarà l'entrada de sediments i nutrients als mars de latituds altes (Smith *et al.*, 2007), però ignorem quin impacte pot tenir això més enllà dels mars regionals afectats.

Règims de vents

S'ha suggerit que un dels canvis associats al canvi climàtic global serà l'augment d'episodis catastròfics de circulació atmosfèrica, des dels ciclons i els huracans tropicals fins als vents regionals associats al temps meteorològic. Encara hi ha moltes incerteses sobre aquest punt, però cal recordar aquí almenys tres aspectes de la biologia marina en els quals els vents tenen un paper destacat.

En primer lloc, els afloraments induïts o reforçats per vents litorals (com ara el del golf de Lleó, per indicar-ne el més proper) poden resultar afectats en certa manera per canvis eventuais en el règim de vents (i per l'escalfament concomitant de l'aigua). Segon, i amb independència de quina sigui la causa de la sobreabundància de meduses i sifonòfors que darrerament es registra prop del litoral (Mills, 2001; Attrill *et al.*, 2007; Ros, 2007), els organismes del macroplàncton i en especial del nèuston són molt dependents dels corrents i dels vents pels seus moviments poblacionals passius. En ocasió de vents de llevant, el litoral català rep més d'aquests visitants d'alta mar que en altres règims de vents, amb els problemes associats que es coneixen (Gili i Pagès, 2005).

Tercerament, els vents procedents del nord d'Àfrica aporten al Mediterrani (i a altres àrees estudiades, com ara les Canàries) pols sahariana, amb una càrrega notable de materials susceptibles d'actuar com a nutrients per als productors planctònics (fòsfor, ferro) o, alternativament, de gèrmens (vegeu l'apartat 2.4).

Règims de corrents

Més preocupant que el possible efecte sobre el règim de vents resulta l'impacte del canvi climàtic sobre els corrents marins. Aquests corrents són més el resultat de l'equilibri dinàmic entre masses d'aigua segons la seva densitat (circulació geotròfica) que no pas l'efecte dels vents sobre l'oceà, i és clar que l'escalfament global provoca que la densitat de l'aigua de mar canviï regionalment, en unes àrees amb una aportació més gran d'aigua dolça (per fusió del glaç terrestre; Holland *et al.*, 2007; Howatt *et al.*, 2007) i en altres per una reducció d'aquestes entrades (augment de l'evaporació i reducció de la precipitació). Això ha provocat que l'èmfasi de l'impacte més notable del canvi climàtic sobre el mar s'hagi fet en la possible disrupció del sistema de corrents, tal com el coneixem ara (Broecker, 1991; Alley, 2007), amb efectes bruscos i catastròfics.

Efectivament, l'escenari que planteja esquemàticament el film *The Day After Tomorrow* (2004) d'una alteració sobtada del sistema de circulació superficial i profunda de l'Atlàntic nord, amb efectes immediats sobre el clima regional i la desviació de corrents (entre els quals, el del golf, que escalfa Europa), no sembla impossible, i més



si es té en compte els episodis de canvis climàtics ocorreguts en alguna època històrica (la petita edat del glaç). Hom pot modelar aquestes i altres modificacions (per exemple, dels corrents del Mediterrani), però el marge d'incertesa és massa gran per dir-ne res de concret. Moltes espècies aprofiten els corrents per als seus moviments migratoris, que, en conseqüència, es poden alterar.

Pujada del nivell del mar

Segurament, un dels efectes més coneguts del canvi climàtic és la pujada del nivell del mar com a conseqüència de, com a mínim, dos efectes: la dilatació de la massa d'aigua per efecte de l'escalfament (vegeu l'apartat 1.1) i l'aportació diferencial de l'aigua continental per fusió incrementada del glaç de geleres, casquets polars i glaç terrestre en general (la del glaç marí no fa variar el nivell del mar). Segons les diferents projeccions, i la seva revisió constant, en els escenaris més negatius la pujada estimada del nivell del mar és de prop d'un metre al llarg del segle XXI, equivalent al total de la que hi ha hagut a les costes europees i nord-americanes, allà on els registres són fiables, durant els darrers dos o tres segles (Rahmstorf, 2007).

Encara que aquest augment pugui semblar moderat, moltes regions de costes baixes (àrees deltaïques, estuarianes, illes oceàniques coral·lines, etc.) estan amenaçades tant per la pujada del nivell del mar com per la incidència d'episodis de tempestes i altres maltempsades que també es pronostiquen en augment. A casa nostra, els deltes (especialment el de l'Ebre) i les àrees d'aiguamolls i maresmes, a més de les urbanitzades prop de la línia de costa, perillan en cas que es compleixi o s'agreugi aquest escenari. Malgrat que s'han preparat simulacions prou realistes de l'efecte que aquesta pujada del nivell del mar pot tenir en les àrees litorals més poblades i urbanitzades (com ara la que va fer Greenpeace el 2007, que pot portar aquesta ONG als tribunals per, suposadament, atemptar contra el futur econòmic de la regió de Múrcia), que destaquen els danys als béns urbans (McGranahan *et al.*, 2007; Bosello *et al.*, 2007; etc.; vegeu l'apartat 2.9), l'impacte més gran serà segurament ecològic.

Efectivament, la pujada del nivell del mar colgarà àrees naturals que avui dia (per bé que malmeses en part per les activitats humanes) proporcionen serveis ecosistèmics prou notables: la filtració de les aigües fluvials contaminades per part dels aiguamolls; la producció primària elevada dels poblaments d'algues fotòfiles i de les praderies de fanerògames marines (especialment, al Mediterrani, de *Posidonia oceanica*); i el paper d'àrees de cria i alimentació per a ocells, peixos i invertebrats en general d'aquestes comunitats, que, si queden cobertes per les aigües en ascens, difícilment es podran restablir en àrees ara ja molt alterades o urbanitzades.

Canvis en la biota i les comunitats

De manera gairebé insensible, hom ha anat passant dels efectes sobre l'entorn físic als efectes sobre les espècies d'organismes i les comunitats que formen. Ara cal comentar d'una manera més concreta aquests efectes més clarament ecològics, i les conseqüències per a la biodiversitat i per a la nostra espècie.

Canvis en les pautes de distribució geogràfica i batimètrica

El primer efecte que se'ns acut a l'hora de plantejar el futur dels poblaments bacterians, vegetals i animals en un mar més càlid és que algunes espècies es podran adaptar més o menys bé als canvis (bàsicament, l'augment de la temperatura de les aigües) i mantindran o expandiran la seva distribució actual, mentre que altres no ho faran, i reduiran aquesta distribució i àdhuc desapareixeran, a ritmes que només s'han pogut establir per a molt poques espècies (Barnes *et al.*, 2001; Sabatés *et al.*, 2006; Mackas *et al.*, 2007; Lima *et al.*, 2007; Mackenzie *et al.*, 2007; Mieszkowska *et al.*, 2007; Jagtap i Nagle, 2007; Simmonds i Isaac, 2007; etc.).

De manera general (Hughes, 2000), les espècies monotípiques i adaptades rígidament a determinades condicions tèrmiques seran les més afectades, mentre que les monotípiques amb més facilitat d'adaptació i, especialment, les politípiques, dividides en diferents poblacions adaptades a règims tèrmics també diferents, seran les que es podran adaptar amb menys dificultats a l'escalfament generalitzat del seu hàbitat, gràcies a la resistència i l'expansió de les seves poblacions més termòfiles, en detriment de les que ho són menys. Els sistemes de dispersió d'ous, larves i propàguls en general, molt lligats al sistema oceànic de corrents, d'abast mundial, haurà d'afavorir més que en els ecosistemes terrestres aquesta redistribució segons els nous escenaris tèrmics.

Actualment, algunes espècies d'àmplia distribució, que en mars més freds (com ara els marginals de l'oceà Atlàntic) són pròpies d'aigües superficials, se solen trobar al Mediterrani en aigües pregones; atès que el Mediterrani té temperatures més altes tant al llarg del cicle anual com seguint un perfil batimètric (la temperatura profunda d'aquest mar no davalla mai dels 12 °C, en clara contraposició amb les aigües oceàniques, que a partir d'alguns centenars de metres ja assoleixen els 4 °C), aquestes espècies cerquen el seu òptim tèrmic, que pot diferir molt en poblacions de la mateixa espècie a un cantó i l'altre de l'estret de Gibraltar, per exemple. És evident que aquest «enfonsament» cercant les temperatures més adients no es podrà produir gaire més enllà si la massa d'aigua en general, i no tan sols les aigües superficials, s'escalfa. A més a més, caldrà que les espècies de les quals depenen les que modifiquin el seu hàbitat també ho facin; en cas contrari, es poden donar situacions de manca parcial o total de correspondència depredador-presa, o altres relacions que poden quedar alterades (Durant *et al.*, 2007; MacLeod *et al.*, 2007; Freitas *et al.*, 2007; etc.).

Així mateix, al Mediterrani hi ha hagut històricament un clar gradient latitudinal: les espècies més termòfiles, tant les pelàgiques com les bentòniques, es trobaven limitades a les costes nord-africanes i llevantines (Mediterrani oriental), mentre que les més capaces de tolerar temperatures baixes eren més pròpies de les costes europees, en especial del Mediterrani occidental. Hom podia trobar distribuïdes adientment segons els gradients tèrmics esmentats les espècies que havien entrat al Mediterrani, un cop restablerta la connexió d'aquest mar amb l'Atlàntic fa uns cinc milions d'anys, en les èpoques glacials (espècies d'afinitats temperades i boreals, més pròpies de les aigües septentrionals i pregones del Mediterrani) i les que hi havien entrat en èpoques interglacials (espècies d'afinitats tropicals i subtropicals, més pròpies de les aigües meridionals i superficials del Mediterrani).

Darrerament, algunes d'aquestes espècies mediterrànies d'afinitats tropicals o termòfiles han ampliat la seva distribució; el raor (*Xyrichtys novacula*), el fadri (*Thalassoma pavo*) i l'anfós (*Epinephelus marginatus*), per exemple, entre els peixos, són ara ben comunes en aigües del Principat, mentre que fa poques dècades eren rares i es trobaven en abundància només en àrees més meridionals (per exemple, les illes Balears). *Parablennius pilicornis* (una bavosa), *Scorpaena maderensis* (escòrpora de Madeira) i *Pomadasys incisus* (roncador), entre altres, han estat esmentades recentment de les costes catalanes i franceses, molt més septentrionals que la seva àrea de distribució habitual. És molt probable que aquesta situació sigui més general, però hi ha poques espècies tan fàcils d'observar i tan conegudes com els peixos.

Així mateix, a les aigües més càlides de les Balears, en especial, han trobat recer espècies alienes procedents de la migració lessepsiana (Por, 1978) o d'altres orígens (vegeu l'apartat 2.6). Això és així per a algunes espècies de peixos (com ara *Siganus rivulatus*) i per a moltes espècies d'algues (*Asparagopsis taxiformis*, *Womersleyella setacea*, *Lophocladia lallemandii*, *Caulerpa racemosa*, *C. taxifolia*, *Acrothamnion preissii*, etc.), absents fa dues dècades i que avui dominen el paisatge submarí en alguns indrets de les Illes (Ballesteros, com. pers.; Patzner, 1998; Ballesteros *et al.*, 2007; etc.).

Un dels pocs estudis que demostren clarament el canvi en la distribució d'una espècie és el de Sabatés *et al.* (2006), sobre l'alatxa (*Sardinella aurita*). El treball analitza els canvis en l'abundància i la distribució d'aquesta espècie termòfila al llarg de les darreres dècades i troba una correlació positiva entre les anomalies tèrmiques i les captures: les abundàncies d'un any depenen de les temperatures registrades en l'època de maduració de l'any



anterior. Al mateix temps, el límit septentrional dels ous i les larves de l'alatxa ha passat de la latitud aproximada del delta de l'Ebre de fa vint anys a la latitud de Blanes d'avui dia: l'escalfament progressiu de les aigües superficials ha permès l'extensió cap al nord de l'espècie, i no deu ser l'única (Brunel i Boucher, 2007).

En qualsevol cas, si les espècies d'afinitats tropicals podran expandir la seva àrea de distribució en un escenari d'escalfament del Mediterrani, què els passarà a les espècies d'afinitats boreals, constituents de les anomenades «faunes fredes» (Pèrès i Picard, 1964), moltes de les quals actualment es troben acantonades en aigües pregones o localitats molt septentrionals d'aquest mar, on formen poblaments reduïts o relictos? No és difícil pronosticar que el ritme de reducció de la seva àrea de distribució continuarà, un procés que segurament va començar des de la mateixa introducció en aigües mediterrànies, ara fa alguns milions d'anys, des de les fredes aigües de l'Atlàntic durant els períodes glacials.

Això és el que sembla que els passa, entre altres espècies, als mol·luscs *Cyprina (Arctica) islandica* i *Buccinum undatum*, i als peixos *Platichthys flesus* i *Raja clavata*. Algunes davallades importants en les poblacions de determinades espècies (per exemple, de fucals; Thibaut *et al.*, 2005) podrien estar produïdes, entre altres impactes, per l'escalfament creixent de les nostres costes.

Canvis en la fenologia

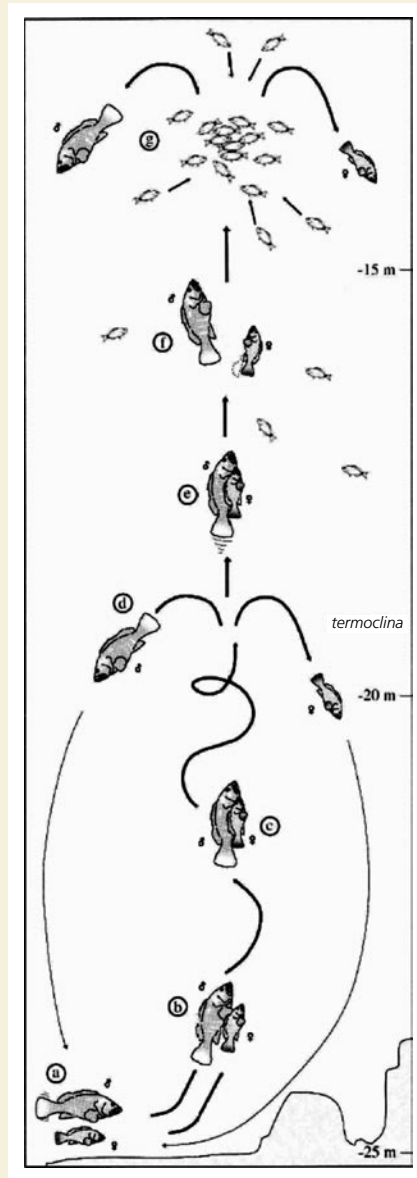
El canvi tèrmic no tan sols afecta la distribució: algunes espècies veuen alterades pautes biològiques i ecològiques de tota mena, que van des de la variació en la disponibilitat d'aliment fins a la proporció entre els sexes, molt dependent de la temperatura en els peixos (Mora i Ospina, 2001; Navarro *et al.*, 2005). L'efecte demogràfic a mitjà termini d'aquests canvis pot ser força important. Així mateix, com ja està ben establert en els ecosistemes terrestres, en els marins es pot donar un decalatge en les èpoques de fresa i reproducció en les espècies en què la dependència de la temperatura és forta, en lloc de seguir una pauta més lligada al temps calendari (Høye *et al.*, 2007; Greenwood, 2007; Hawkes *et al.*, 2007; etc.).

Un dels canvis més espectaculars, ultra els relacionats amb la variació de la proporció sexual en algunes espècies de peixos, és el que correspon a la parada nupcial i la fresa de l'anfós (*Epinephelus marginatus*), observada per primer cop en aigües catalanes (de les illes Medes) fa una dècada (figura 2; Zabala *et al.*, 1997). La reproducció d'aquesta espècie termòfila no s'havia registrat mai a una latitud tan alta, on només arribaven juvenils desclosos en aigües meridionals del Mediterrani. De segur que aquest no és l'únic cas.

Estrès fisiològic

Els organismes no responen com a màquines de tot o res al canvi climàtic: la temperatura em convé i em quedo o no em convé i marxo. Les noves condicions poden comportar modificacions en la fisiologia, des d'una menor quantitat d'oxigen disponible per a les activitats normals (Morán *et al.*, 2006; Portner i Knust, 2007; Michaelidis *et al.*, 2007; Anestis *et al.*, 2007; etc.) fins a una menor capacitat competitiva amb relació a les altres espècies en les noves condicions, que s'afegeixen a les limitacions en les disponibilitats alimentàries ja esmentades. L'adaptació a les noves condicions, doncs, comporta canvis notables en la biologia de les espècies i en l'ecologia de les comunitats.

Figura 2. Representació esquemàtica d'un episodi de fresa en l'anfós, segons el van observar i el van descriure per primer cop a les illes Medes Zabala *et al.* (1997). No totes les conseqüències del canvi climàtic al Mediterrani són tan interessants.



Malalties

Alguns d'aquests canvis cauen dins de l'apartat de malalties: l'estrès fisiològic debilita unes espècies i n'augmenta la morbiditat, i les noves condicions faciliten la proliferació d'altres que són causants de malalties. Bona part dels casos de malalties i mortalitats en massa (vegeu l'apartat 2.6) estan lligats a altes temperatures episòdiques o duradores (Harvell *et al.*, 1999; Lafferty *et al.*, 2004; Bruno *et al.*, 2007; Bally i Garrabou, 2007; etc.). Cal interpretar «malalties» d'una manera molt àmplia, des de la proliferació de gèrmens (a causa de l'augment de la temperatura o d'altres efectes sinèrgics, com, per exemple, l'augment de nutrients; vegeu l'apartat 1.3) fins a la sobreabundància d'espècies tòxiques, bàsicament dinoflagel·lats i altres algues causants de proliferacions nocives



(Gómez i Claustre, 2001; Vila i Masó, 2005). Les característiques ambientals que faciliten aquesta proliferació (aigües tranquil·les, càlides i riques en nutrients) sembla que són cada cop més freqüents en àrees arrecerades del litoral mediterrani.

No cal dir que l'ús d'antibiòtics, que és una pràctica comuna en l'aqüicultura extensiva, ha comportat la generació de resistència per a molts patògens, cosa que s'afegeix als efectes de l'escalfament esmentats més amunt, en un exemple clar de sinergia entre diferents impactes antròpics (vegeu l'apartat 2.6).

Episodis de mortalitats en massa i a gran escala

De tots els efectes catastròfics associats al canvi climàtic, el que fins ara sembla més ben establert i que ha produït uns resultats espectaculars (per negatius) i catastròfics (pel seu abast) és el seguit de condicions oceanogràfiques i d'altres que provoquen episodis de mortalitat en massa a gran escala. Aquests episodis no són desconeguts en el medi marí (Korringa, 1973) i darrerament han proliferat com a conseqüència de les fortes pressions sobre els esculls de corall i altres ecosistemes oceànics (Hughes *et al.*, 2003; McClanahan *et al.*, 2007; Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007; etc.), però mai no s'havien documentat tan bé com al llarg de la darrera dècada en el Mediterrani nord-occidental.

Al final de l'estiu del 1999, hom va observar un episodi de mortalitat en massa, sense precedents, al llarg de centenars de quilòmetres de les costes de la Provença i de la Ligúria (Perez *et al.*, 2000; Cerrano *et al.*, 2000; Romano *et al.*, 2000; Garrabou *et al.*, 2001; etc.). Les espècies afectades van ser sobretot invertebrats sèssils i suspensívors de la comunitat del coral·ligen (Ros *et al.*, 1985; Ballesteros, 2006), situats entre els 10 i els 40 m de profunditat: esponges (*Hippospongia communis* i *Spongia officinalis*, etc.), cnidaris (especialment els antozous *Corallium rubrum*, *Paramuricea clavata*, *Eunicella cavolinii*, *E. singularis* i *Cladocora caespitosa*), mol·luscs bivalves, briozous i ascidis. El sentit de propagació de la mortalitat fou des de l'est cap a l'oest. El resultat fou una pèrdua de biomassa estimada en el 50% de la que és pròpia d'aquesta comunitat (entre 150 i 1 200 g (p. s.) m⁻²), deguda a necrosi dels teixits de les colònies, amb posterior despreniment o ocupació de les colònies per part d'espècies epibionts.

L'any 2003 es va repetir l'episodi, amb una notable extensió cap al sud de les àrees afectades: gairebé tota la costa italiana des del mar Tirrè fins al golf de Nàpols, Còrsega, l'estret de Bonifacio, Catalunya, Menorca i els Columbrets (figura 3). El 2006, novament, es va produir un episodi de mortalitat en massa de suspensívors, aparentment amb un impacte menor que el de tres anys abans. L'episodi del 1999 es va poder detectar i avaluar perquè en algunes àrees protegides de la zona s'hi duïen a terme estudis de seguiment de les comunitats, i en els anys posteriors es va procedir a fer el seguiment de l'impacte i de la recuperació eventual de les poblacions de les espècies de suspensívors afectades. Atès que les mortalitats s'han repetit en anys successius, s'ha posat en marxa un programa internacional de detecció primerenca, avaluació i, eventualment, identificació de les causes (Medchange).

Figura 3. Extensió dels dos episodis de mortalitat en massa (EMM) del 1999 i el 2003 (Font: Perez et al., 2000; Garrabou et al., 2001; etc.).

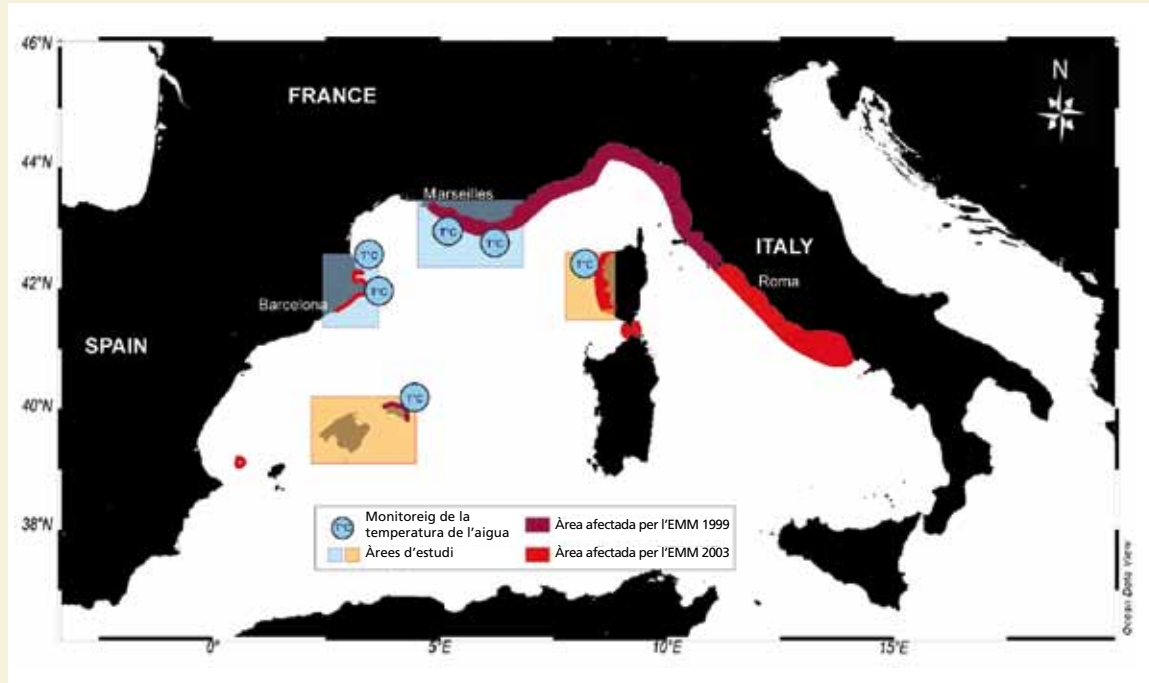
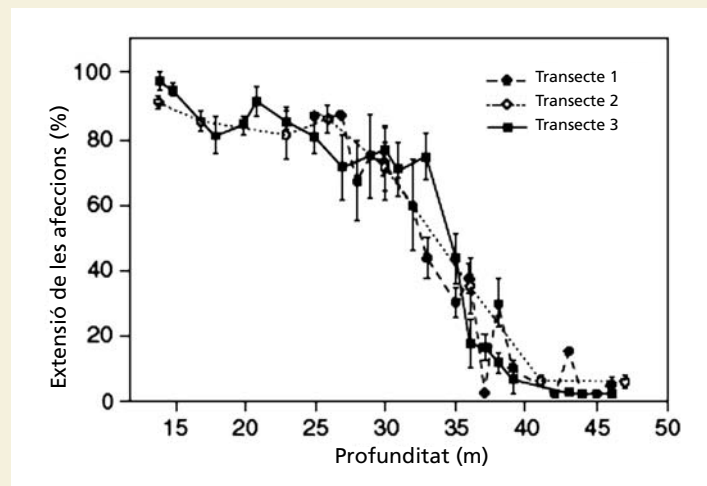


Figura 4. Importància de les afectacions per l'episodi de mortalitat en massa del 1999 (percentatge de teixit necrosat sobre el total) en la gorgònia *Paramuricea clavata* al llarg de tres transectes a l'illa de Port-Cros.



Fins als 30 m de profunditat, l'afectació supera en tots els casos el 70% de les colònies, mentre que per sota dels 40 m és molt baixa. [Font: Linares et al., 2005].



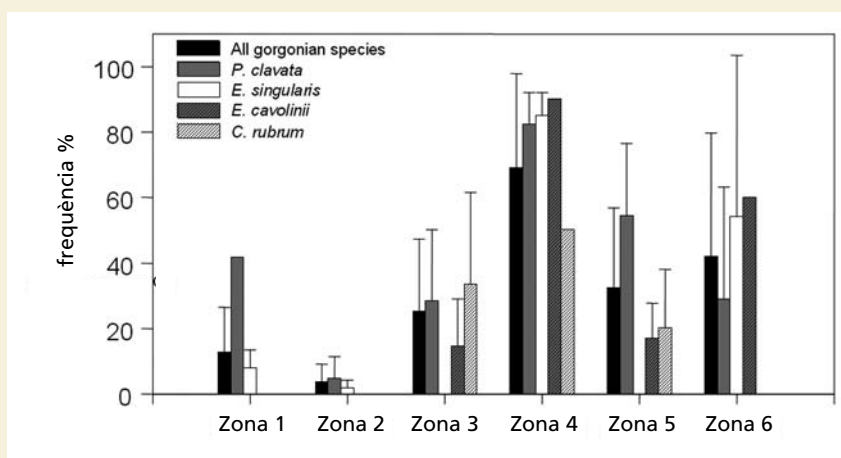
L'impacte d'aquests episodis ha estat enorme, tant per l'abast geogràfic com pel nombre d'espècies afectades, per la incidència en les poblacions (en total, s'estima que la pèrdua ha estat del 50% de la biomassa d'aquestes espècies, amb un clar gradient batimètric, ja que les poblacions més superficials han estat les més afectades: figura 4; Perez *et al.*, 2000; Cerrano *et al.*, 2000; Romano *et al.*, 2000; Garrabou *et al.*, 2001; Linares *et al.*, 2005), per la dificultat de recuperació (algunes d'aquestes espècies són de biologia parsimoniosa: la gorgònia *Paramuricea clavata*, per exemple, creix prop d'1 cm anual, de manera que recuperar la complexitat estructural de les comunitats del coral·ligen afectades, encara que sigui només parcialment, es pot allargar durant dècades), per l'impacte sobre la biodiversitat associada als «boscos» de suspensívors afectats, etc.

L'efecte no ha estat el mateix en totes les àrees geogràfiques ni en totes les poblacions, ni en els diferents anys en què s'ha detectat el fenomen (figura 5). La causa principal ha estat la prolongació, més enllà del que és habitual, del període de manteniment de la termoclina estival, que separa les aigües càlides superficials de les fredes pregones. Efectivament, durant els estius dels anys esmentats, aquesta termoclina —en lloc de trencar-se i permetre la barreja de les dues masses d'aigua superficial i pregonal al final de l'estiu, com sol ser el cas— es va mantenir aproximadament durant un altre mes, amb la qual cosa les aigües superficials del Mediterrani nord-occidental van gaudir d'una temperatura excepcionalment elevada i estable (23-24 °C) al llarg de tota la columna d'aigua, fins als 40 m de profunditat.

L'efecte sobre les espècies de suspensívors pot haver estat directe (per una inadaptabilitat a les condicions tèrmiques estivals prolongades, potser mitjançant un mecanisme fisiològic; vegeu l'apartat 2.3) o indirecte: per la manca de l'aliment (plàncton) que l'estratificació i, per tant, el retard en la barreja autumnal impedeix de proliferar; per l'efecte de gèrmens patògens afavorits per les temperatures elevades (Martin *et al.*, 2002; Bally i Garrabou, 2007); per l'efecte sinèrgic de tòxics en l'aigua procedents de contaminació, etc.

Gairebé totes aquestes hipòtesis tenen els seus defensors, i caldrà esperar resultats més conclouents per acceptar-les o rebutjar-les, però el resultat d'aquests episodis és innegable i catastròfic. Com sigui que els diferents escenaris de canvi climàtic plantegen un augment de la temperatura al llarg del segle XXI, els episodis d'escalfament de les aigües superficials del Mediterrani poden deixar de ser fenòmens excepcionals per esdevenir habituals, amb les implicacions de pèrdua regional de biodiversitat que es pot suposar (Coma *et al.*, 2006; etc.).

Figura 5. Freqüència mitjana de colònies afectades de les quatre espècies de gorgonaris afectades per l'episodi de mortalitat en massa del 2003.



Zona 1: Balears; zona 2: Catalunya i Catalunya Nord; zona 3: Alps Marítims; zona 4: Ligúria; zona 5: Còrsega i nord de Sardenya; zona 6: golfs de Gaeta i de Nàpols. [Font: Garrabou *et al.*, 2001; Coma *et al.*, 2006].

Sinergia amb altres impactes (contaminació tèrmica, espècies al·lòctones, etc.)

Ja hem esmentat els dubtes sobre les causes últimes de les mortalitats catastròfiques induïdes per l'escalfament perllongat del Mediterrani nord-occidental: poden ser diverses. El mateix es pot dir d'altres situacions, en les quals l'escalfament global propicia i magnifica altres impactes; n'esmentarem un parell. Les àrees litorals tancades (ports, llacunes, etc.), amb aigües més càlides, són reservoris d'espècies exòtiques, entre les quals hi ha les d'afinitats tropicals, aportades en el passat o actualment mitjançant el transport en l'aigua de llast dels vaixells o en el *fouling* de les seves carenes. L'augment de la temperatura de les aigües del Mediterrani pot comportar l'«alliberament» d'algunes d'aquestes espècies acantonades en les esmentades àrees restringides, que podran ocupar àrees més extenses. Això és el que ha passat recentment amb el corall *Oculina patagonica*, fins fa poc restringit al port d'Alacant i ara està en els fons superficials de moltes localitats del Mediterrani occidental. Una situació similar es produeix amb les entrades a mar d'aigua sobreescalfada, procedent dels sistemes de refrigeració de centrals tèrmiques i nuclears, que són també nuclis potencials de dispersió d'espècies termòfiles, encara que la inèrcia tèrmica del mar és molt gran i l'abast d'aquest impacte, reduït.

Ja hem esmentat l'entrada al Mediterrani, i l'expansió posterior, d'espècies exòtiques lessepsianes o d'altres orígens, una expansió que l'augment de temperatura està afavorint i pot fer-ho encara més en el futur immediat (Occhipinti-Ambrogi, 2007).

Cal fer referència també a la situació d'erosió de la biodiversitat, d'exhauriment dels estocs pesquers, d'alteració de les aigües i els fons per la contaminació i altres activitats d'origen antròpic, que s'afegeixen sinèrgicament als impactes derivats del canvi climàtic. El resultat és una afectació molt important als hàbitats i a les espècies.

Impactes sobre la biodiversitat, sobre els serveis ecosistèmics i sobre els recursos apropiats per a l'home

Tots aquests impactes, i encara altres, es tradueixen en una pèrdua notable de biodiversitat, per bé que alguns fenòmens (com ara la incorporació d'espècies al·lòctones) podrien fer pensar el contrari. La biodiversitat marina del mar Mediterrani, que és notable (Pérès i Picard, 1964; Ros *et al.*, 1985; Giaccone i Geraci, 1989; Bianchi i Morri, 2000; Boudouresque, 2004; Boudouresque *et al.*, 2004; etc.), experimenta darrerament canvis importants com a conseqüència del canvi climàtic i d'altres activitats antròpiques; alguns són d'abast mundial i es produeixen a un ritme commensurat, mentre que altres són d'abast regional i molt ràpids.

Aquests canvis tenen dues característiques comunes: a) l'eliminació massiva de les espècies més fràgils i longeves, de biologia parsimoniosa i més adaptades, moltes de les quals són endèmiques i/o relictas, i la persistència i l'expansió d'espècies banals, pioneres, en gran manera al·lòctones; b) la «tropicalització» de la biota: no tan sols les espècies autòctones afavorides són les més termòfiles, sinó que tant les que entren de manera natural via Gibraltar com les migradores lessepsianes, i bona part de les que penetren afavorides pel transport humà (en el *fouling* o en el llast dels vaixells), són d'afinitat subtropical o tropical.

És difícil avaluar quins poden ser els efectes d'aquests canvis en la biodiversitat a l'escala de tot el Mediterrani, però com que es tracta d'un mar molt divers, és segur que l'empobriment d'uns actors i l'expansió dels altres, mitjançant impactes directes o induïts, a través d'efectes en cascada (Sala *et al.*, 1998; etc.) i de capgiraments en els equilibris poblacionals i ecosistèmics «naturals» (fins on sigui possible aquesta denominació; Jackson i Sala, 2001; Jackson *et al.*, 2001), provocaran alteracions importants en la biodiversitat i en l'ecodiversitat (*sensu* Margalef, 1997).

Això ja està passant en altres mars regionals (Jackson *et al.*, 2001; Hughes *et al.*, 2003; Sala i Knowlton, 2006; Clarke *et al.*, 2007; Aronson *et al.*, 2007; Jagtap i Nagle, 2007; etc.). El resultat, en tots aquests mars, és la



simplificació de les comunitats marines mitjançant diversos mecanismes: reducció accelerada de la biodiversitat marina; esfondrament de poblacions i extincions d'espècies; homogeneïtzació i banalització de les comunitats; reducció de l'estructura tridimensional biogènica; simplificació de les xarxes tròfiques; domini dels controls des de baix (*bottom up*) de les xarxes tròfiques amb relació als controls des de dalt (*top-down*); increment de la inestabilitat i disminució de la capacitat de recuperació; reducció de la biomassa total; augment del quocient P/B; reducció de la producció total i de la disponible per als éssers humans. Tot això tindrà (ja està tenint ara) conseqüències a l'escala ecosistèmica, però també en el forniment de serveis ecosistèmics (Worm *et al.*, 2007), alguns dels quals ens són fonamentals, com ara l'apropiació de proteïna en forma de peix i marisc (Cury *et al.*, 2008).

Potser el mar Mediterrani no deixarà de ser oligotròfic (Margalef, 1985) ni biodivers; potser no acabarà «tropicalitzant-se» (Bianchi, 2007); potser les algues frondoses no seran substituïdes pels coralls (Ballesteros i Zabala, 1989), però de segur que serà molt diferent del que van descriure els investigadors marins dels segles XIX i XX i els poetes de tots els temps.

Referències bibliogràfiques

- ALLEY, R. B. (2007). «Wally was right: Predictive ability of the North Atlantic “conveyor belt” hypothesis for abrupt climate change». *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, núm. 35, pàg. 241-272.
- ANESTIS, A.; LAZOU, A.; PÖRTNER, H. O.; MICHAELIDIS, B. (2007). «Behavioral, metabolic, and molecular stress responses of marine bivalve *Mytilus galloprovincialis* during long-term acclimation at increasing ambient temperature». *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, núm. 293(2), R911-R921.
- ARONSON, R. B.; THATJE, S.; CLARKE, A.; PECK, L. S.; BLAKE, D. B.; WILGA, C. D.; SEIBEL, B. A. (2007). «Climate change and invasibility of the Antarctic benthos». *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, núm. 38, pàg. 129-154.
- ATTRILL, M. J.; WRIGHT, J.; EDWARDS, M. (2007). «Climate-related increases in jellyfish frequency suggest a more gelatinous future for the North Sea». *Limnology and Oceanography*, núm. 52(1), pàg. 480-485.
- BAKER, A. C.; STARGER, C. J.; McCLANAHAN, T. R.; GLYNN, P. W. (2004). «Corals' adaptive response to climate change». *Nature*, núm. 430, pàg. 741.
- BALLESTEROS, E. (2006). «Mediterranean coralligenous assemblages: A synthesis of present knowledge». *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, núm. 44, pàg. 123-195.
- BALLESTEROS, E.; CEBRIÁN, E.; ALCOVERRO, T. (2007). «Mortality of shoots of *Posidonia oceanica* following meadow invasion by the red alga *Lophocladia lallemandii*». *Bot. Mar.*, núm. 50, pàg. 8-13.
- BALLY, M.; GARRABOU, J. (2007). «Thermodependent bacterial pathogens and mass mortalities in temperate benthic communities: a new case of emerging disease linked to climate change». *Global Change Biology*, núm. 13(10), pàg. 2078-2088.
- BAMES, D. K. A.; CROOK, A.; O'MOHONEY, M.; STEICIE, S.; MAGUIRE, D. (2001). «Sea temperature variability and *Paracentrotus lividus* population fluctuations». *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, núm. 81, pàg. 359-360.
- BARCELOS E RAMOS, J.; BISWAS, H.; SCHULZ, K. G.; LAROCHE, J.; RIEBESELL, U. (2007). «Effect of rising atmospheric carbon dioxide on the marine nitrogen fixer *Trichodesmium*». *Global Biogeochemical Cycles*, núm. 21(20), art. GB2028.
- BIANCHI, C. N. (2007). «Biodiversity issues for the forthcoming tropical Mediterranean Sea». *Hydrobiologia*, núm. 580(1), pàg. 7-21.

- BIANCHI, C. N.; MORRI, C. (2000). «Marine Biodiversity of the Mediterranean Sea: Situation, Problems and Prospects for Future Research». *Marine Pollution Bulletin*, núm. 40(5), pàg. 367-376.
- BIBBY, R.; CLEALL-HARDING, P.; RUNDLE, S.; WIDDICOMBE, S.; SPICER, J. (2007). «Ocean acidification disrupts induced defences in the intertidal gastropod *Littorina littorea*». *Biology Letters*, núm. 3(6), pàg. 699-701.
- BLACKFORD, J. C.; GILBERT, F. J. (2007). «pH variability and CO₂ induced acidification in the North Sea». *Journal of Marine Systems*, núm. 64(1-4), pàg. 229-241.
- BOSELLO, F.; ROSON, R.; TOL, R. S. J. (2007). «Economy-wide estimates of the implications of climate change: Sea level rise». *Environmental and Resource Economics*, núm. 37(3), pàg. 549-571.
- BOUDOURESQUE, C. F. (2004). «Marine biodiversity in the Mediterranean: status of species, populations and communities». *Scientific Reports of Port-Cros National Park*, núm. 20, pàg. 97-146.
- BOUDOURESQUE, C. F.; BOURY-ESNAULT, N.; HARMELIN-VIVIEN, M. (2004). «La biodiversitat marina: tendències, models i amenaces». A: VILÀ, M.; RODÀ, F.; ROS, J. D. (ed.). *Jornades sobre Biodiversitat i Conservació Biològica. Seminar on Biodiversity and Biological Conservation*, pàg. 189-209 i 391-410. Institut d'Estudis Catalans. Barcelona.
- BROECKER, W. S. (1991). «The Great Ocean Conveyor». *Oceanography*, núm. 4, pàg. 79-89.
- BRUNEL, T.; BOUCHER, J. (2007). «Long-term trends in fish recruitment in the north-east Atlantic related to climate change». *Fisheries Oceanography*, núm. 16(4), pàg. 336-349.
- BRUNO, J. F.; SELIG, E. R.; CASEY, K. S.; PAGE, C. A.; WILLIS, B. L.; HARVELL, C. D.; SWEATMAN, H.; MELENDY, A. M. (2007). «Thermal stress and coral cover as drivers of coral disease outbreaks». *PLoS Biology*, núm. 5(5), art. e124.
- CALDEIRA, K.; WICKETT, M. E. (2003). «Anthropogenic Carbon and Ocean pH». *Nature*, núm. 425, pàg. 365.
- CERRANO, C.; BAVESTRELLO, G.; BIANCHI, C. N.; CATTANEO-VIETTI, R.; BAVA, S.; MORGANTI, C.; MORRI, C.; PICCO, P.; SARÀ, G.; SCHIAPARELLI, S.; SICCARDI, A.; SPONGA, F. (2000). «A Catastrophic Mass-mortality Episode of Gorgonians and Other Organisms in the Ligurian Sea (North-western Mediterranean), Summer 1999». *Ecology Letters*, núm. 3, pàg. 284-293.
- CICERONE, R. *et al.* (2004). «The ocean in a high CO₂ world». *Earth and Ocean Science*, núm. 85 (37), pàg. 351-353.
- CLARKE, A.; MURPHY, E. J.; MEREDITH, M. P.; KING, J. C.; PECK, L. S.; BARNES, D. K. A.; SMITH, R. C. (2007). «Climate change and the marine ecosystem of the western Antarctic Peninsula». *Philosophical Transactions of the Royal Society of London [B]*, núm. 362(1477), pàg. 149-166.
- COMA, R.; LINARES, C.; RIBES, M.; DÍAZ, D.; GARRABOU, J.; BALLESTEROS, E. (2006). «Consequences of a mass mortality in populations of *Eunicella singularis* (Cnidaria: Octocorallia) in Menorca (NW Mediterranean)». *Marine ecology. Progress series*, núm. 327, pàg. 51-60.
- CURY, P. M.; SHIN, Y.-J.; PLANQUE, B.; DURANT, J. M.; FROMENTIN, J.-M.; KRAMER-SCHADT, S.; STENSETH, N. C.; TRAVERS, M.; GRIMM, V. (2008). «Ecosystem oceanography for global change in fisheries». *Trends in Ecology and Evolution*, núm. 23(6), pàg. 338-346.
- DUARTE, C. M.; TINTORÉ, J. (2001). «El cambio climático y sus consecuencias para los ecosistemas costeros de las islas Baleares». A: *El canvi climàtic: passat, present i futur*. Conselleria de Medi Ambient, Govern de les Illes Balears.
- DURANT, J. M.; HJERMANN, D. O.; OTTERSEN, G.; STENSETH, N. C. (2007). «Climate and the match or mismatch between predator requirements and resource availability». *Climate Research*, núm. 33(3), pàg. 271-283.
- FIELDS, P. A.; GRAHAM, J. B.; ROSENBLATT, R. H.; SOMERO, G. N. (1993). «Effects of expected global climate change on marine faunas». *Trends in Ecology and Evolution*, núm. 8(10), pàg. 361-367.



- FINE, M.; TCHERNOV, D. (2007). «Scleractinian Coral Species Survive and Recover from Decalcification». *Science*, núm. 315, pàg. 1811.
- FRANCOUR, P.; BOUDOURESQUE, C. F.; HARMELIN, J. G.; HARMELIN-VIVIEN, M. L.; QUIGNARD, J. P. (1994). «Are the Mediterranean waters becoming warmer? Information from biological indicators». *Mar. Pollut. Bull.*, núm. 28(9), pàg. 523-526.
- FREITAS, V.; CAMPOS, J.; FONDS, M.; VAN DER VEER, H. W. (2007). «Potential impact of temperature change on epibenthic predator-bivalve prey interactions in temperate estuaries». *Journal of Thermal Biology*, núm. 32(6), pàg. 328-340.
- GARRABOU, J.; PEREZ, T.; SARTORETTO, S.; HARMELIN, J. G. (2001). «Mass mortality event in red coral (*Corallium rubrum*, Cnidaria, Anthozoa, Octocorallia) population in the Provence region (France, NW Mediterranean)». *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, núm. 217, pàg. 263-272.
- GAZEAU, F.; QUIBLIER, C.; JANSEN, J. M.; GATTUSO, J.-P.; MIDDELBURG, J. J.; HEIP, C. H. R. (2007). «Impact of elevated CO₂ on shellfish calcification». *Geophysical Research Letters*, núm. 34(7), art. L07603.
- GIACCONE, G.; GERACI, R. M. (1989). «Biogeografia delle Alge del Mediterraneo». *Anales Jard. Bot. Madrid*, núm. 46(l), pàg. 27-33.
- GILI, J. M.; PAGÈS, F. (2005). «Les proliferacions de meduses». *Butlletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, núm. 48, pàg. 1-22.
- GÓMEZ, F.; CLAUSTRE, H. (2001). «Spreading of *Gymnodinium catenatum* Graham in the Western Mediterranean Sea». *Harmful Algae News*, núm. 22.
- GOURETSKI, V.; KOLTERMANN, K. P. (2007). «How much is the ocean really warming?». *Geophysical Research Letters*, núm. 34(1), art. L01610.
- GREENWOOD, J. G. (2007). «Earlier laying by Black Guillemots *Cephus grylle* in Northern Ireland in response to increasing sea-surface temperature». *Bird Study*, núm. 54, pàg. 378-379.
- HALL-SPENCER, J. M.; RODOLFO-METALPA, R.; MARTIN, S.; RANSOME, E.; FINE, M.; TURNER, S. M. *et al.* (2008). «Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification». *Nature* (advance online publication 8 June 2008).
- HARLEY, C. D. *et al.* (2006). «The impacts of climate change in coastal marine systems». *Ecology Letters*, núm. 9, pàg. 228-241.
- HARVELL, C. D.; KIM, K.; BURKHOLDER, J. M.; COLWELL, R. R.; EPSTEIN, P. R.; GRIMES, D. J.; HOFMANN, E. E.; LIPP, E. K.; OSTERHAUS, A. D. M. E.; OVERSTREET, R. M.; PORTER, J. W.; SMITH, G. W.; VASTA, G. R. (1999). «Emerging marine diseases—Climate links and anthropogenic factors». *Science*, núm. 285, pàg. 1505-1510.
- HAWKES, L. A.; BRODERICK, A. C.; GODFREY, M. H.; GODLEY, B. J. (2007). «Investigating the potential impacts of climate change on a marine turtle population». *Global Change Biology*, núm. 13(5), pàg. 923-932.
- HOEGH-GULDBERG, O.; MUMBY, P. J.; HOOTEN, A. J.; STENECK, R. S.; GREENFIELD, P.; GÓMEZ, E.; HARVELL, C. D.; SALE, P. F.; EDWARDS, A. J.; CALDEIRA, K.; KNOWLTON, N.; EAKIN, C. M.; IGLESIAS-PRIETO, R.; MUTHIGA, N.; BRADBURY, R. H.; DUBI, A.; HATZIOLOS, M. E. (2007). «Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification». *Science*, núm. 318(5857), pàg. 1737-1742.
- HOLLAND, M. M.; FINNIS, J.; BARRETT, A. P.; SERREZE, M. C. (2007). «Projected changes in Arctic Ocean freshwater budgets». *Journal of Geophysical Research—Biogeosciences*, núm. 112(G4), art. G04S55.
- HOWAT, I. M.; JOUGHIN, I.; SCAMBOS, T. A. (2007). «Rapid changes in ice discharge from Greenland outlet glaciers». *Science*, núm. 315(5818), pàg. 1559-1561.

HØYE, T. T.; POST, E.; MELTOFTE, H.; SCHMIDT, N. M.; FORCHHAMMER, M. C. (2007). «Rapid advancement of spring in the High Arctic». *Current Biology*, núm. 17(12), R449-R451.

HUGHES, L. (2000). «Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?». *Trends in Ecology and Evolution*, núm. 15, pàg. 56-61.

HUGHES, T. P.; BAIRD, A. H.; BELLWOOD, D. R.; CARD, M.; CONNOLLY, S. R.; FOLKE, C.; GROSBERG, R.; HOEGH-GULDBERG, O.; JACKSON, J. B. C.; KLEYPAS, J.; LOUGH, J. M.; MARSHALL, P.; NYSTRÖM, M.; PALUMBI, S. R.; PANDOLFI, J. M.; ROSEN, B.; ROUGHGARDEN, J. (2003). «Climate Change, Human Impacts, and the Resilience of Coral Reefs». *Science*, núm. 301, pàg. 929-933.

IGLESIAS-RODRÍGUEZ, M. D.; HALLORAN, P. R.; RICKABY, R. E. M.; HALL, I. R.; COLMENERO-HIDALGO, E.; GITTINS, J. R. *et al.* (2008). «Phytoplankton Calcification in a High-CO₂ World». *Science*, núm. 320, pàg. 336-340.

JACKSON, J. B.; SALA, E. (2001). «Unnatural Oceans». A: GILI, J. M.; PRETUS, J. L.; PACKARD, T. T. (ed.). *A Marine Science Odyssey into the 21st Century*, pàg. 273-281. *Scientia Marina*, núm. 65 (supl. 2).

JACKSON, J. B. C.; KIRBY, M. X.; BERGER, W. H.; BJORNDAAL, K. A.; BOTSFORD, L. W.; BOURQUE, B. J.; BRADBURY, R. H.; COOKE, R.; ERLANDSON, J.; ESTES, J. A.; HUGHES, T. P.; KIDWELL, S.; LANGE, C. B.; LENIHAN, H. S.; PANDOLFI, J. M.; PETERSON, C. H.; STENECK, R. S.; TEGNER, M. J.; WARNER, R. R. (2001). «Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems». *Science*, núm. 293, pàg. 629-638.

JAGTAP, T. G.; NAGLE, V. L. (2007). «Response and adaptability of mangrove habitats from the Indian subcontinent to changing climate». *Ambio*, núm. 36(4), pàg. 328-334.

KORRINGA, C. (1973). «The Ocean as Final Recipient of the End Products of the Continent's Metabolism. Pollution of the Oceans: Situation, Consequences, and Outlooks for the Future». A: SIOLI, H. (ed.). *Ökologie und Lebensschutz in internationaler Sicht. Ecology and Bioprotection, International Conclusions*, pàg. 91-140. Rombach. Friburg de Brisgòvia. (Hi ha traducció castellana: *Ecología y protección de la naturaleza. Conclusiones internacionales*. Blume. Barcelona. 1982).

LAFFERTY, K. D.; PORTER, J. W.; FORD, S. E. (2004). «Are diseases increasing in the ocean?». *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, núm. 35, pàg. 31-54.

LEFÈVRE, N.; WATSON, A. J.; OLSEN, A.; RÍOS, A. F.; PÉREZ, F. F.; JOHANNESSEN, T. (2004). «A decrease in the sink for atmospheric CO₂ in the North Atlantic». *Geophys. Res. Lett.*, núm. 31, L07306. DOI: 10.1029/2003GL018957.

LEVITAN, O.; ROSENBERG, G.; SETLIK, I.; SETLIKOVA, E.; GRIGEL, J.; KLEPETAR, J.; PRASIL, O.; BERMAN-FRANK, I. (2007). «Elevated CO₂ enhances nitrogen fixation and growth in the marine cyanobacterium *Trichodesmium*». *Global Change Biology*, núm. 13(2), pàg. 531-538.

LEVITUS, S.; ANTONOV, J. L.; BOYER, T. P.; STEPHENS, C. (2000). «Warming of the World Ocean». *Science*, núm. 287, pàg. 2225-2229.

LIMA, F. P.; RIBEIRO, P. A.; QUEIROZ, N.; HAWKINS, S. J.; SANTOS, A. M. (2007). «Do distributional shifts of northern and southern species of algae match the warming pattern?». *Global Change Biology*, núm. 13(12), pàg. 2592-2604.

LINARES, C.; COMA, R.; DÍAZ, D.; ZABALA, M.; HEREU, B.; DANTART, L. (2005). «Immediate and delayed effects of mass mortality event on gorgonian population dynamics and benthic community structure in the NW Mediterranean». *Marine Ecology Progress Series*, núm. 305, pàg. 127-137.

MACKAS, D. L.; BATTEN, S.; TRUDEL, M. (2007). «Effects on zooplankton of a warmer ocean: Recent evidence from the Northeast Pacific». *Progress in Oceanography*, núm. 75(2), pàg. 223-252.



- MACKENZIE, B. R.; SCHIEDEK, D. (2007). «Daily ocean monitoring since the 1860s shows record warming of northern European seas». *Global Change Biology*, núm. 13(7), pàg. 1335-1347.
- MACKENZIE, B. R.; GISLASON, H.; MOLLMANN, C.; KOSTER, F. W. (2007). «Impact of 21st century climate change on the Baltic Sea fish community and fisheries». *Global Change Biology*, núm. 13(7), pàg. 1348-1367.
- MACLEOD, C. D.; SANTOS, M. B. A.; REID, R. J.; SCOTT, B. E.; PIERCE, G. J. (2007). «Linking sand eel consumption and the likelihood of starvation in harbour porpoises in the Scottish North Sea: could climate change mean more starving porpoises?». *Biology Letters*, núm. 3(2), pàg. 185-188.
- MARGALEF, R. (ed.) (1985). *Western Mediterranean*. Pergamon Press. Oxford, etc. (versió castellana del 1989: *El Mediterráneo Occidental*. Omega. Barcelona).
- MARGALEF, R. (1997). *Our biosphere*. Excellence in Ecology, 10. Ecology Institute. Oldendorf (Luhe).
- MARTIN, Y.; BONNEFONT, J. L.; CHANCERELLE, L. (2002). «Gorgonians mass mortality during the 1999 late summer in French Mediterranean coastal waters: the bacterial hypothesis». *Water Research*, núm. 36(3), pàg. 779-782.
- McCLANAHAN, T. R.; ATEWEBERHAN, M.; MUHANDO, C. A.; MAINA, J.; MOHAMMED, M. S. (2007). «Effects of climate and seawater temperature variation on coral bleaching and mortality». *Ecological Monographs*, núm. 77(4), pàg. 503-525.
- MCGRANAHAN, G.; BALK, D.; ANDERSON, B. (2007). «The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones». *Environment & Urbanization*, núm. 19(1), pàg. 17-37.
- MICHAELIDIS, B.; SPRING, A.; PORTNER, H. O. (2007). «Effects of long-term acclimation to environmental hypercapnia on extracellular acid-base status and metabolic capacity in Mediterranean fish *Sparus aurata*». *Marine Biology*, núm. 150(6), pàg. 1417-1429.
- MIESZKOWSKA, N.; HAWKINS, S. J.; BURROWS, M. T.; KENDALL, M. A. (2007). «Long-term changes in the geographic distribution and population structures of *Osilinus lineatus* (Gastropoda: Trochidae) in Britain and Ireland». *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, núm. 87(2), pàg. 537-545.
- MILES, H.; WIDDICOMBE, S.; SPICER, J. I.; HALL-SPENCER, J. (2007). «Effects of anthropogenic seawater acidification on acid-base balance in the sea urchin *Psammechinus miliaris*». *Marine Pollution Bulletin*, núm. 54(1), pàg. 89-96.
- MILLS, C. E. (2001). «Jellyfish blooms: are populations increasing globally in response to changing ocean conditions?». *Hydrobiologia*, núm. 451, pàg. 55-68.
- MORA, C.; OSPINA, A. F. (2001). «Tolerance to high temperatures and potential impact of sea warming on reef fishes of Gorgona Island (tropical eastern Pacific)». *Marine Biology*, núm. 139, pàg. 765-769.
- MORÁN, X. A. G.; SEBASTIÁN, M.; PEDRÓS-ALIÓ, C.; ESTRADA, M. (2006). «Response of Southern Ocean phytoplankton and bacterioplankton production to short-term experimental warming». *Limnology and oceanography*, núm. 51(4), pàg. 1791-1800.
- NAVARRO, L.; BLÁZQUEZ, M.; PIFERRER, F. (2005). «Efecto de la temperatura sobre la proporción de sexos de la lubina (*Dicentrarchus labrax*)». A: CASTAÑO, J. P.; MALAGÓN, M. M.; GARCÍA NAVARRO, S. (ed.). *Avances en endocrinología comparada*, núm. 2, pàg. 135-138. Universitat de Còrdova.
- NOAA (2008). *The State of the Coral Reef Ecosystems of the United States and Pacific Freely Associated States: 2008*. National Oceanic and Atmospheric Administration. Washington.
- OCCHIPINTI-AMBROGI, A. (2007). «Global change and marine communities: Alien species and climate change». *Marine Pollution Bulletin*, núm. 55(7-9), pàg. 342-352.

- ORR, J. C. *et al.* (2005). «Anthropogenic Ocean Acidification over the Twenty-First Century and its Impact on Calcifying Organisms». *Nature*, núm. 437, pàg. 681-686.
- PARRILLA, G.; LAVÍN, A.; BRYDEN, H.; GARCÍA, M.; MILLARD, R. (1994). «Rising temperatures in the Subtropical N. Atlantic over the past 35 years». *Nature*, núm. 369, pàg. 48-51.
- PATZNER, R. (1998). «The invasion of *Lophocladia* (Rhodomelaceae, Lophotaliae) at the northern coast of Ibiza (Western Mediterranean Sea)». *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, núm. 41, pàg. 75-80.
- PÉRÈS, J.-M.; PICARD, J. (1964). «Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée». *Rec. Trav. Sta. Mar. Endoume*, núm. 31(47), pàg. 5-137.
- PÉREZ, T.; GARRABOU, J.; SARTORETTO, S.; HARMELIN, J. G.; FRANCOUR, P.; VACELET, J. (2000). «Mortalité massive d'invertébrés marins: un événement sans précédent en Méditerranée nord-occidentale – Mass mortality of marine invertebrates: an unprecedented event in the NW Mediterranean». *C. R. Acad. Sci. Paris, III*, núm. 323, pàg. 853-865.
- POFF, F. D. (1978). *Lessepsian migration*. Springer. Berlín, Nova York.
- PORTNER, H. O.; KNUST, R. (2007). «Climate change affects marine fishes through the oxygen limitation of thermal tolerance». *Science*, núm. 315(5808), pàg. 95-97.
- RAHMSTORF, S. (2007). «A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise». *Science*, núm. 315(5810), pàg. 368-370.
- RIEBESELL, U.; ZONDERVAN, I.; ROST, B.; TORTELL, P. D.; ZEEBE, R. E.; MOREL, F. M. M. (2004). «Reduced calcification of marine plankton in response to increased atmospheric CO₂». *Nature*, núm. 407, pàg. 364-367.
- ROMANO, J. C.; BENSOUSSAN, N.; YOUNES, W. A. N.; ARLHAC, D. (2000). «Anomalies thermiques dans les eaux du golfe de Marseille durant l'été 1999. Une explication partielle de la mortalité d'invertébrés fixés». *C. R. Acad. Sci. Paris, III*, núm. 323, pàg. 415-427.
- ROS, J. D. (2007). «Medusas». *Cultura/s-La Vanguardia*, núm. 268, pàg. 2-3.
- ROS, J. D.; ROMERO, J.; BALLESTEROS, E.; GILI, J. M. (1985). «Diving in blue water: the benthos». A: MARGALEF, R. (ed.). *Western Mediterranean*, pàg. 233-295. Pergamon. Oxford.
- ROYAL SOCIETY (2005). *Ocean Acidification Due to Increasing Atmospheric Carbon Dioxide*. The Royal Society. Londres.
<http://www.royalsoc.ac.uk/displaypagedoc.asp?id=13314>.
- SABATÉS, A.; MARTÍN, P.; LLORET, J.; RAYA, V. (2006). «Sea warming and fish distribution: the case of the small pelagic fish, *Sardinella aurita*, in the Western Mediterranean». *Global Change Biology*, núm. 12, pàg. 2209-2219.
- SABINE, C. L.; FEELY, R. A.; GRUBER, N.; KEY, R. M.; LEE, K.; BULLISTER, J. L.; WANNINKHOF, L.; WONG, C. S.; WALLACE, D. W. R.; TILBROOK, B.; MILLERO, F. J.; PENG, T. H.; KOZYR, A.; ONO, T.; RÍOS, A. F. (2004). «The oceanic sink for anthropogenic CO₂». *Science*, núm. 305, pàg. 367-371.
- SALA, E.; KNOWLTON, N. (2006). «Global Marine Biodiversity Trends». *Annual Review of Environment and Resources*, núm. 31, pàg. 93-122.
- SALA, E.; BOUDOURESQUE, C. F.; HARMELIN-VIVIEN, M. (1998). «Fishing, trophic cascades and the structure of algal assemblages: evaluation of an old but untested paradigm». *Oikos*, núm. 82, pàg. 425-439.
- SALAT, J.; PASCUAL, J. (2006). «Principales tendencias climatológicas en el Mediterráneo Noroccidental, a partir de



más de 30 años de observaciones oceanográficas y meteorológicas en la costa catalana». A: *Clima, sociedad y medio ambiente*, pàg. 283-290. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. Saragossa.

SIMMONDS, M. P.; ISAAC, S. J. (2007). «The impacts of climate change on marine mammals: early signs of significant problems». *Oryx*, núm. 41(1), pàg. 19-26.

SMITH, K. L.; ROBISON, B. H.; HELLY, J. J.; KAUFMANN, R. S.; RUHL, H. A.; SHAW, T. J.; TWINING, B. S.; VERNET, M. (2007). «Free-drifting icebergs: Hot spots of chemical and biological enrichment in the Weddell Sea». *Science*, núm. 317(5837), pàg. 478-482.

THIBAUT, T.; PINEDO, S.; TORRAS, X.; BALLESTEROS, E. (2005). «Long-term decline of the populations of Fucales (*Cystoseira* spp. and *Sargassum* spp.) in the Albères coast (France, North-western Mediterranean)». *Marine Pollution Bulletin*, núm. 50(12), pàg. 1472-1489.

TURLEY, C. M.; ROBERTS, J. M.; GUINOTTE, J. M. (2007). «Corals in deep-water: will the unseen hand of ocean acidification destroy cold-water ecosystems?». *Coral Reefs*, núm. 26(3), pàg. 445-448.

VÁZQUEZ-DOMÍNGUEZ, E.; VAQUÉ, D.; GASOL, A. M. (2007). «Ocean warming enhances respiration and carbon demand of coastal microbial plankton». *Global Change Biology*, núm. 13(7), pàg. 1327-1334.

VILA, M.; MASÓ, M. (2005). «Phytoplankton functional groups and harmful algae species in anthropogenically impacted waters of the NW Mediterranean Sea». *Scientia Marina*, núm. 69(1), pàg. 31-45.

WORM, B.; BARBIER, E. B.; BEAUMONT, N.; DUFFY, J. E.; FOLKE, C.; HALPERN, B. S.; JACKSON, J. B. C.; LOTZE, H. K.; MICHELI, F.; PALUMBI, S. R.; SALA, E.; SELKOE, K. A.; STACHOWICZ, J. J.; WATSON, R. (2006). «Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services». *Science*, núm. 314, pàg. 787-790.

ZABALA, M.; BALLESTEROS, E. (1989). «Surface dependent strategies and energy flux in benthic communities or, why corals do not exist in the Mediterranean». *Scientia Marina*, núm. 53(1), pàg. 3-17.

ZABALA, M.; GARCÍA-RUBIES, A.; LOUISY, P.; SALA, E. (1997). «Spawning behaviour of the Mediterranean dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834) (Pisces, Serranidae) in the Medes Islands Marine Reserve (NW Mediterranean, Spain)». *Scientia Marina*, núm. 61(1), pàg. 65-77.