

Les comunitats biològiques de les plataformes marines de l'alta Antàrtida: un cas únic en el planeta.

Escrit per

Josep Maria Gili i Begoña Vendrell
 Institut de Ciències del Mar de Barcelona (CSIC)

Sota el desert de gel antàrtic hi trobem una selva. Hi és malgrat les perturbacions naturals, les condicions ambientals extremes en l'alta Antàrtida i la marcada estacionalitat, que fa que la seva elevada producció primària es generi de manera important només durant uns pocs mesos l'any. Una selva amb una biodiversitat comparable a la de les zones de major diversitat marina del planeta i que s'ha generat i mantingut a través d'un excel·lent procés d'acoblament ecològic que neix en el gel marí i en la possible existència d'uns ancestres de la fauna actual procedents del paleozoic.



© NASA/Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio

A

Figura 1.

Imatges de comunitats bentòniques de les plataformes continentals del mar de Weddell (Antàrtida), aproximadament a 300 m de fondària, dominades per suspensívors bentònics (B) i dels fons de plataformes similars de l'Àrtic (A).



© Dieter Papeburg



© Dieter Papeburg

El planeta blanc

Al planeta Terra se'l coneix com el *planeta blau* perquè, quan se l'observa des de l'espai, el blau dels oceans n'és el color dominant. Aquesta idea, però, canvia si s'observa el planeta des dels pols, especialment des del pol sud. En aquest cas, sobretot durant l'hivern austral, la visió ens duria a anomenar el nostre planeta el *planeta blanc*. El continent antàrtic, amb una superfície d'uns $14,2 \cdot 10^6$ km², està cobert en gairebé la seva totalitat per una densa capa de gel. Aquest gel i el gel marí que conforma una placa que pot arribar als $18,8 \cdot 10^6$ km² al voltant del continent són la causa del color blanc intens que en conjunt arriba a gairebé tres vegades la superfície d'Europa. Aquesta enorme àrea reflecteix el 80% de la llum que emet el planeta i representa el 90% del seu gel. És un autèntic desert amb condicions ambientals extremes, com són l'escassa pluviositat –plou uns 50 ml l'any, que és la mateixa quantitat d'aigua que plou en el desert del Sàhara–; els forts vents –de fins a 320 km h⁻¹–, i temperatures que arriben als –89,6°C. L'Antàrtida és un enorme sistema límit en el qual encara sorprèn que hi sorgeixi la vida i que aquesta sigui tan rica en espècies i biomassa.

Un desert per a la vida?

Fa poques dècades encara es creia que el paradigma de la distribució latitudinal de la biodiversitat en el planeta es complia en totes les seves regions: la màxima diversitat biològica marina es desenvolupa en la zona tropical i decreix progressivament cap als pols. Seguint aquesta tendència i recordant l'inhòspit del medi ambient, el que cabia esperar era que els fons marins del continent antàrtic fossin tan despoblats com moltes regions de l'oceà profund o, almenys, com els de l'oceà Àrtic (més coneguts en aquells dies). Emperò, els primers estudis que es van dur a terme mitjançant la recollida de mostres, però sobretot amb l'ús de vehicles submarins equipats amb càmeres de vídeo o fotogràfiques, van descobrir una

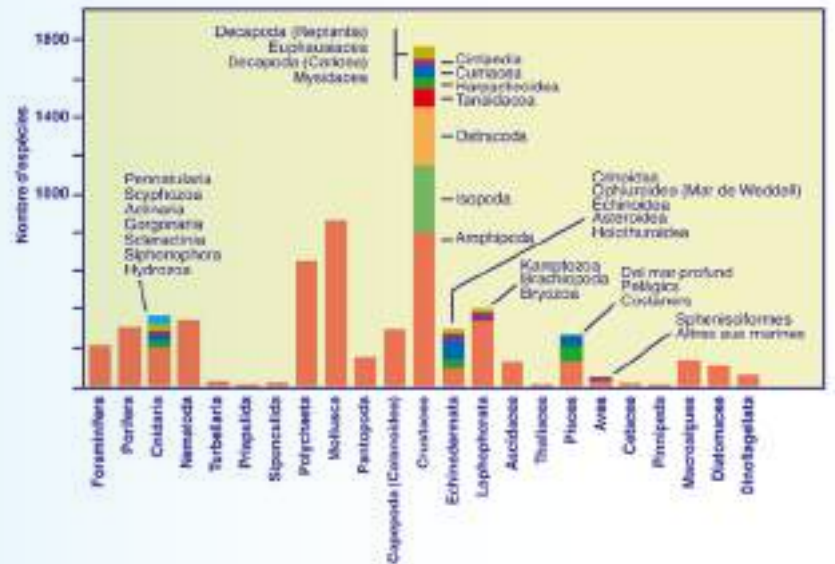


Figura 2.

Nombre d'espècies, segons la categoria taxonòmica, de les comunitats bentòniques de l'Antàrtida. Destaca l'elevat nombre d'espècies de poliquets, mol·luscs i amfípodes (dins dels crustacis).

riquesa biològica tan extraordinària que encara avui dia sorprèn l'observador (Fig. 1). A manera d'exemple, les comunitats bentòniques del mar de Weddell tenen uns 4 kg de biomassa (pes humit)/m² mentre que en les plataformes de l'Àrtic aquesta és d'un ordre de magnitud inferior (400 g/m²). El nombre d'espècies bentòniques reportat fins a l'actualitat és d'unes 4.200, encara que es preveu que molt aviat s'arribarà a les 9.000 espècies gràcies a la intensificació dels estudis sobre biodiversitat antàrtica. També a mode de comparació i considerant una superfície equivalent, en la Mediterrània es coneixen unes 5.500 espècies i en la zona de corals de l'Indo-Pacífic, unes 6.400. Si a més tenim en compte que aquestes dues últimes zones són de les més estudiades fins avui dia, haurem de reconèixer que la biodiversitat de les plataformes continentals de l'alta Antàrtida es situa entre les més elevades del planeta. En estudis comparatius relacionats amb el nombre d'espècies conegudes en l'Antàrtida i en zones també molt ben estudiades, com són les illes Britàniques i les Hawaii, s'ha vist que no solament són comparables en diversitat, sinó que en alguns grups taxonòmics –com els poliquets, amfípodes i equinoderms–, l'Antàrtida alberga un major nombre d'espècies conegudes (Fig. 2).

B



A



B

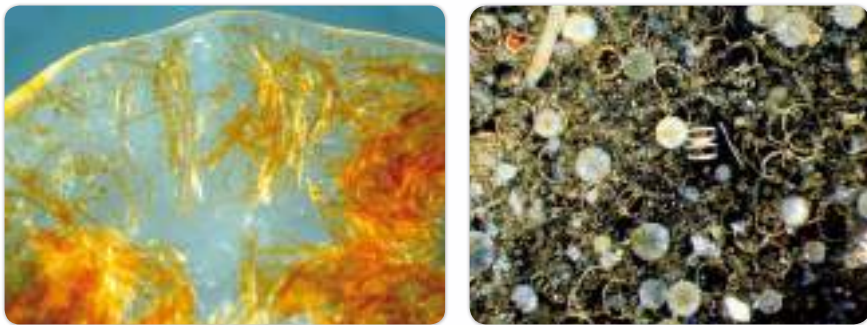
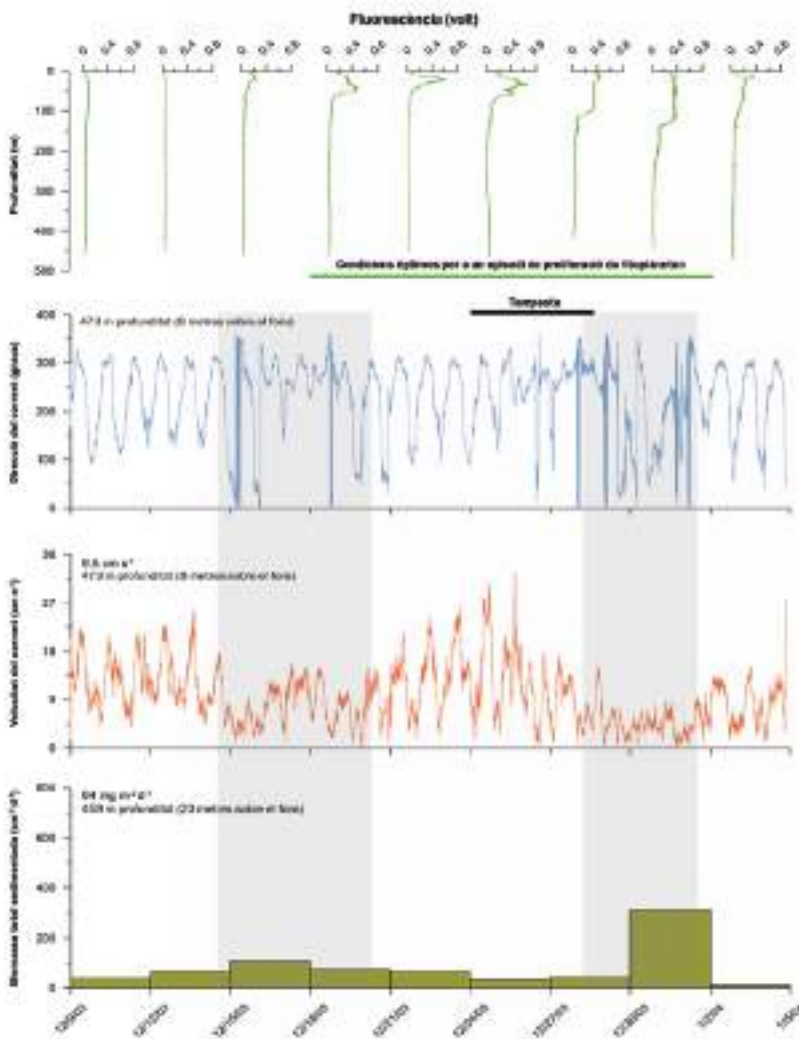


Figura 3. A) Fotografies de gel marí durant l'època de primavera austral, on s'observa la coloració marró de la part inferior del gel en contacte amb l'aigua, pel seu contingut en microalgues carregades de lípids. B) Detall de l'interior d'un tros de gel ple de cadenes de microalgues i imatge dels organismes que habiten un tros de gel obtinguda a través de microscopi.



L'elevada diversitat antàrtica ve acompanyada d'altres característiques de la fauna marina que contribueixen a confirmar la seva singularitat. El percentatge d'espècies endèmiques és molt alt en gairebé tots els grups zoològics. Per exemple, de les 200 espècies de peixos conegudes, el 95% són endèmiques d'aigües antàrtiques. Dins els altres grups, els percentatges superen sovint el 70% (el menor conegut és el dels mol·luscs, d'un 45%). Una altra característica remarcable és el temps que tarden moltes espècies antàrtiques en formar noves generacions de gàmetes i arribar a la maduresa sexual. En alguns organismes, com per exemple esponges o cnidaris, es tarda de dos a tres anys en completar el desenvolupament gonadal, fet que multiplica per tres el temps en aigües temperades i tropicals. El seu creixement és lent, d'unes 2 a 5 vegades inferior que en altres regions, en gran part pel reduït metabolisme i les baixes temperatures, amb la qual cosa s'origina un fenomen molt estès entre la fauna antàrtica com és la llarga longevitat i, també en part, el gegantisme. Per exemple, el consum d'oxigen és unes 5 vegades inferior en mol·luscs bivalves que en altres regions; les taxes metabòliques són de 8 fins a 27 vegades inferiors en aigües antàrtiques. Aquest conjunt de característiques fa encara més increïble l'elevada diversitat antàrtica, doncs un flux genètic ràpid i continuat seria essencial per arribar a un nivell alt d'especiació.

La recerca de l'explicació d'aquest singular fenomen de biodiversitat ha estat un dels objectius més importants de molts projectes d'investigació marina antàrtica en les últimes dues dècades. En aquest escrit plantegem dos tipus de possibles explicacions, una d'ecològica i una altra d'històrica, que estan sorgint a partir dels últims avenços en la investigació antàrtica.

L'explicació ecològica de la diversitat del bentos antàrtic

Des del punt de vista ecològic, l'explicació comença en el mateix gel marí antàrtic. La banquisa antàrtica és potser l'estructura viva més gran visible des de l'espai exterior. Els seus més de 1,8·10⁶ km² es generen i es desfan

Figura 4. Esquema on es representa la situació a la columna d'aigua (perfil de concentració de Chl a i velocitat del corrent), a més de les taxes de sedimentació de partícules al llarg de dues setmanes. Es pot visualitzar la coincidència entre l'enfonsament de la massa de Chl a i l'increment notori d'acumulació de partícules, fet que coincideix amb el pas d'una tempesta sobre la plataforma oriental del mar de Weddell.

cada any. En el seu interior hi viu una comunitat bàsicament dominada per microalgues i microorganismes que donen lloc a un autèntic ecosistema viu, el qual disposa sovint de concentracions de nutrients més de 40 vegades superiors a les de l'aigua marina circumdant. En termes de biomassa, les microalgues representen uns $1.000 \mu\text{g l}^{-1}$ de clorofil·la, mentre que en l'aigua de superfície n'hi ha com a màxim uns $5 \mu\text{g l}^{-1}$. Durant l'hivern polar, i tot i l'escassa il·luminació, les microalgues mantenen la seva activitat, no poden multiplicar-se, però sí emmagatzemar substàncies de reserva en forma de lípids (p. e., àcids grassos poliinsaturats), els quals utilitzen alhora per mantenir la paret cel·lular impermeable, tot facilitant la seva supervivència i evitant la congelació. En arribar la primavera, el gel marí comença a fondre's i amb això les algues atrapades en el seu interior comencen a créixer de forma exponencial fins al punt de formar llargues cadenes que es poden observar sovint com una gespa que penja sota el gel (Fig. 3).

Aquesta floració tan espectacular de vida desperta tot l'ecosistema antàrtic, i molt especialment el krill. Els components del krill, majoritàriament l'eufausiàci *Euphausia superba*, aprofiten amb extremada eficàcia aquesta elevada producció nova en l'oceà Antàrtic, fet que es demostra en la quantitat d'ous que posa una femella durant sis setmanes de màxima alimentació: de 8.000 a 10.000. Durant unes poques setmanes, les aigües superficials de l'Antàrtida es tornen les més productives del planeta. Considerant tots els depredadors del krill, una hectàrea d'aquest oceà produeix 1.200 kg de proteïna animal per any, xifra que duplica allò que pot donar qualsevol zona de pastura, com serien les productives praderies d'alta muntanya. Més del 50% de tota la producció primària diària és consumida pel krill fins al punt que aquest es converteix en el metazou més abundant del planeta, amb gairebé 1,5 bilions de tones, tres vegades la biomassa de tota l'espècie humana a la Terra. Una part important d'aquest grup de petits crustacis és devorada per balenes, foques, pingüins, peixos, etc., que en consumeixen més de 800.000 milions de tones anuals. Tan sols una balena de 90 t consumeix 4 t de krill diàriament i n'hi ha més de 120.000 que migren cada any cap a l'Antàrtida per alimentar-se. Aquestes migracions va ser el primer que va sorprendre molts aventurers, navegants i científics: es feia difícil pensar per què es desplaçaven tants milers de quilò-

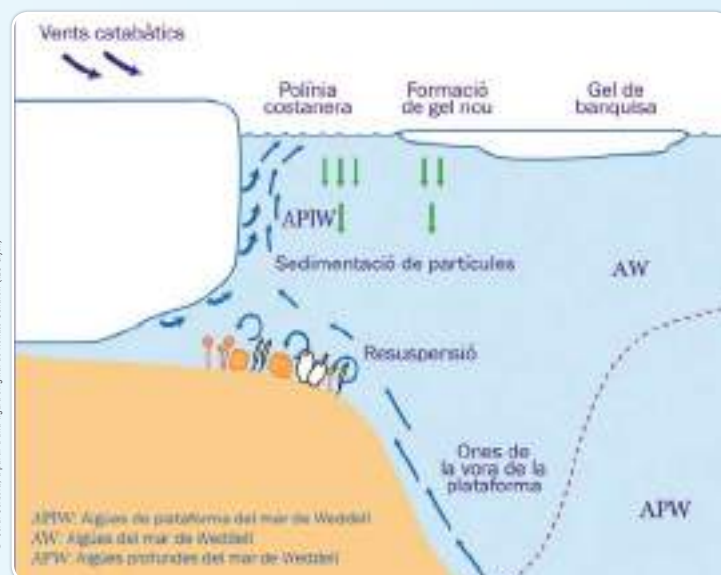


Figura 5. Fotografia d'una gran acumulació de microalgues que formen una de les anomenades *catifes verdes* a la plataforma de l'oest del mar de Weddell (Antàrtida).

metres els majors consumidors dels oceans cap a allò que semblava un gran desert gelat.

No solament el krill consumeix l'enorme producció primària durant la primavera i l'estiu antàrtics. La columna d'aigua s'omple d'altres organismes, com salpes i copèpodes, que són també voraçs herbívors. Amb aquesta gran activitat depredadora, costa de creure que arribi a producció primària al fons, que és on hi trobem l'elevada diversitat marina. Durant els últims anys s'ha pogut observar que, durant uns pocs dies i de forma continuada, una part molt notable de la producció primària procedent del gel s'escapa dels herbívors en la columna d'aigua i cau ràpidament al fons marí. Les habituals tempestes de les latituds australs ajuden enormement a fer possible aquest fenomen perquè amb el seu pas remouen les capes d'aigua superficials i actuen com un pistó que facilita la caiguda cap el fons de les microalgues acumulades en les capes superficials (Fig. 4). Aquesta caiguda és tan ràpida que pot arribar a 400 m de profunditat en tan sols dos o tres dies. Així es formen les anomenades *catifes verdes* que poden arribar a cobrir centenars de metres quadrats (Fig. 5). Aquesta matèria dipositada en el fons és molt

Figura 6. Esquema de funcionament de l'ecosistema marí de plataforma continental a l'Antàrtida, on es visualitza la circulació dels corrents de talús, de ritme mareal, que circulen al llarg de la plataforma i que quan contacten amb el marge del gel es desplacen cap a la superfície.



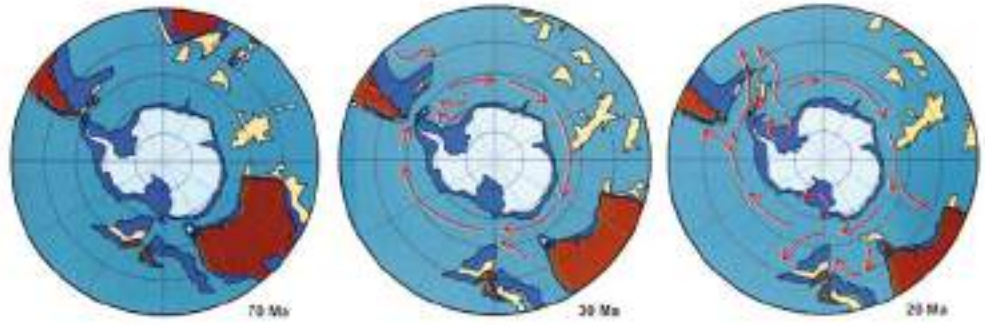
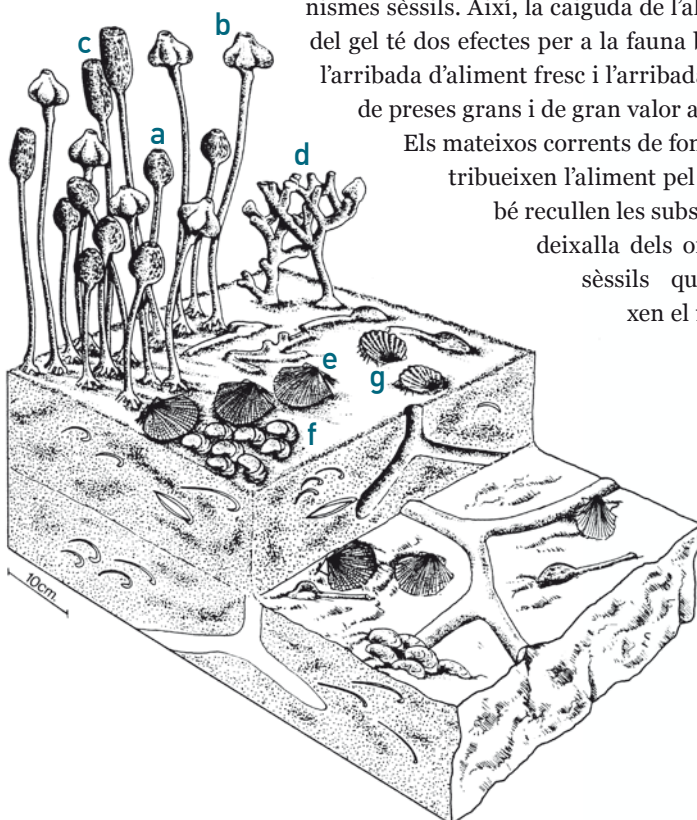


Figura 7.

La separació del continent antàrtic de Gondwana va afavorir la formació del corrent circumpolar antàrtic, que actualment rodeja el continent i l'aïlla de la resta d'oceans, i va originar el progressiu refredament del continent.

Figura 8.

Evolució de l'estructura de les comunitats bentòniques en el temps. S'assenyala la situació de finals del paleozoic, que seria la més semblant a la situació actual de les comunitats bentòniques antàrtiques. Hi podem veure *Siphonia tulipa* (a), *Hallirrhoa costata* (b), *Doryderma benneti* (c), *Doryderma dichotomum* (d), *Chlamys aspera* (e), *Exogyra obliquata* (f) i *Neitheia gibbosa* (g).



rica des del punt de vista alimentari ja que conserva gran part dels lípids emmagatzemats i es descompon molt lentament a causa del fet que a temperatures menors a 0°C l'activitat dels procariontes descomponedors és molt baixa. Així, l'aliment es conserva com en un frigorífic durant diversos mesos. Els corrents de fons ajuden al fet que el material sedimentat es resuspengui diàriament i es distribueixi per tot el fons. D'aquesta manera, els organismes que poblen el fons marí disposen d'aliment suficient tot l'any sense haver de fer cap despesa energètica extraordinària.

La quantitat d'aliment sedimentat és tan elevada que en molts casos propicia que altres organismes com el krill, les salpes o els copèpodes migrin i es desplacin prop del fons on l'aliment és més previsible, a més de ser tan abundant com en la columna d'aigua. La presència d'aquests herbívors prop del fons afavoreix que al mateix temps siguin també presa dels organismes sèssils. Així, la caiguda de l'aliment des del gel té dos efectes per a la fauna bentònica: l'arribada d'aliment fresc i l'arribada freqüent de preses grans i de gran valor alimentari.

Els mateixos corrents de fons que distribueixen l'aliment pel fons també recullen les substàncies de deixalla dels organismes sèssils que cobreixen el fons marí.

Aquestes substàncies, en forma de nutrients inorgànics, com l'amoni, no només s'incorporen a la cadena tròfica microbiana sinó que són transportades pels corrents cap a les zones més costaneres i sovint arrossegades cap a la superfície, tot provocant cert retorn de nutrients. D'aquesta manera, els mateixos organismes que s'aprofiten de la biomassa que arriba del gel retornen part d'aquesta en forma de nutrients a la zona de formació del gel a finals de l'estiu austral, tot tancant un cercle gairebé perfecte que ha perdurat eficaçment en aigües antàrtiques des de fa milions d'anys (Fig. 6).

L'explicació històrica de la diversitat del bents antàrtic

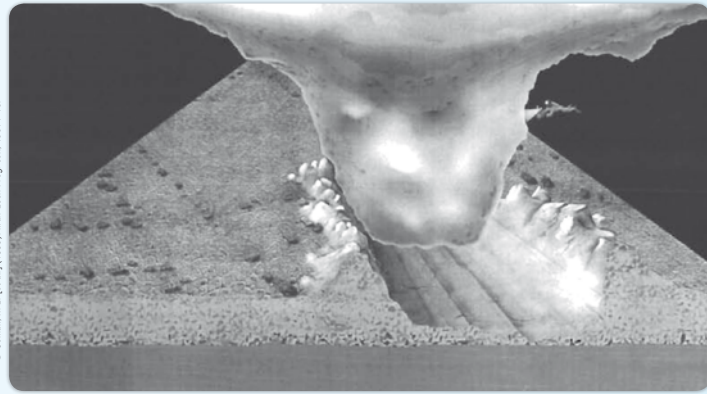
Malgrat l'eficàcia del sistema ecològic que permet el manteniment d'una gran biomassa bentònica, l'elevada biodiversitat necessita, a més, una altra explicació basada en un component històric: amb la lentitud a la qual creixen i es reproduïxen els organismes del fons marí antàrtic, fa falta molt de temps per poder arribar a aquesta elevada diversitat. La clau d'aquesta explicació radica en els inicis de la formació del continent antàrtic. La major part, el sector oriental del continent antàrtic actual (més del 80%), procedeix de l'antic continent de Gondwana. Després de l'última gran orogènia es va ajuntar la zona de la península Antàrtica amb el sector oriental, tot conformant el continent antàrtic que coneixem avui dia, el qual es va situar en la seva posició actual fa uns 35 milions d'anys. En aquella època, l'Antàrtida es va aïllar en gran part de la resta dels continents i oceans en formar-se el corrent circumpolar antàrtic, que circumda el continent en el sentit de les agulles del rellotge (Fig. 7). Aquest corrent és el més potent de la Terra tot desplaçant uns $15,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, unes mil vegades el cabdal de l'Amazones. El continent es va començar a gelar i això va provocar que no hi haguessin aportacions continentals dels rius, fet únic de les plataformes continentals antàrtiques. Aquest fenomen va canviar la biota de les

plataformes respecte de les de la resta del planeta, doncs els rius desplacen gran quantitat de partícules inorgàniques, de llim i argiles, materials fins, que van ser els principals responsables de l'extinció de moltíssima fauna sèssil arreu (perquè aquests organismes retenen les partícules que són arrossegades pels corrents; si són orgàniques els serveixen d'aliment, si són inorgàniques els aniquilen en destruir els seus teixits interns).

Les plataformes marines inicials de l'alta Antàrtida, doncs, van conservar una fauna inicial de finals del cretàc amb característiques morfològiques encara del paleozoic. Després de l'última gran extinció, els fons sedimentaris de la resta d'oceans es van colonitzar d'una nova biota, la denominada endofauna (organismes que viuen dins del o associats al sediment), i es va produir la recuperació de la diversitat marina. Els organismes sèssils suspensívors, si bé van continuar persistint en alguns indrets menys afectats per les aportacions continentals, van proliferar majoritàriament en zones rocoses que emergien dels fons sedimentaris, com els esculls de coral. Així, una de les hipòtesis més actuals sobre l'elevada biodiversitat marina de l'alta Antàrtida és que seria un *paleozoic viu* (Fig. 8), i que la manera d'arribar a alts valors de diversitat amb les característiques abans explicades és que es partís d'un nombre inicial d'organismes i espècies superior al d'altres regions del planeta. Amb l'aïllament, la vida a l'Antàrtida ha seguit un procés d'especiació diferent que ha donat lloc a un nivell d'endemisme tan alt.

Un altre fenomen important per explicar alhora l'elevada diversitat i biomassa del bentos antàrtic és la manca de grans depredadors d'aquesta fauna des dels inicis de l'aïllament antàrtic. Organismes com taurons, grans peixos i crustacis són representants dels depredadors actuals de molta fauna sèssil d'arreu. Les estrelles de mar o els grans poliquets són considerats depredadors d'èpoques passades com el paleozoic i, de fet, són els que trobem avui dia en els fons antàrtics.

Però les plataformes antàrtiques han sofert també pertorbacions importants des del seu aïllament. Aquestes són degudes a l'efecte dels icebergs, els quals, en desprendre's de les plataformes gelades, llauen el fons marí i destrueixen tota la comunitat biolò-



© Conlan, K. E. [et al.] (1999). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 166: 1-16.

Figura 9. L'erosió sobre el fons marí que pot causar el despeniment d'un icebergs és la principal pertorbació natural que afecta les comunitats bentòniques de les plataformes continentals antàrtiques.

gica que hi habita (Fig. 9). Se sap avui dia que almenys un 10% de tota la superfície de les plataformes ha estat afectada alguna vegada pels icebergs en els últims 10.000 anys. Lluny de causar una extinció important, els icebergs actuarien com el foc en un bosc: de vegades, cal el foc per generar nous espais colonitzables i així afavorir la renovació del bosc. Igual com als boscos, els organismes principals són sèssils i pertanyen a ecosistemes madurs que no tenen tornada enrere, i l'única manera que tenen de fer-ho, i alhora introduir possibles nous camins a l'evolució, és aquest «començar un poc de nou».

A tot això, cal afegir que, des de fa un parell de dècades, els paleontòlegs s'han posat d'acord en dir que l'Antàrtida va ser un dels centres de radiació d'espècies després de l'última gran extinció que hi va haver a la Terra. Aquest fet reforça encara més la idea que les comunitats actuals són un reservori de diversitat biològica que pot encara estar actuant i que actuarà de la mateixa manera: seguint la formació d'aigua marina profunda que es dona en dos indrets del planeta, al nord del mar de Weddell i al sud de Groenlàndia, tot endinsant-se en l'anomenat *cinturó de circulació profunda*. |

Referències

Thomas, D. [et al.] (2008). *The Biology of Polar Regions*. Oxford: Oxford University Press.
 Thomas, D. N. (2004). *Frozen Oceans: The floating world of pack ice*. Londres: Natural History Museum.
 Hempel, G. [ed.] (1994). *Antarctic Science. Global Concerns*. Berlín: Springer-Verlag.
 Sayed, Z. El-Sayed [ed.] (1994). *Southern Ocean Ecology: the BIOMASS perspective*. Cambridge: Cambridge University Press.
 Riffenburgh, B. (2006). *Encyclopaedia of the Antarctic* (2 volums). Nova York: Routledge, Taylor & Francis Group.
 Corbera, J. [ed.] (2005). *L'Antàrtida, molt més que gel*. L'Atzavara, 13.

Josep Maria Gili

(Mollerussa, 1953)



Professor d'investigació del Consell Superior d'Investigacions Científiques. Treballa actualment a l'Institut de Ciències del Mar de Barcelona on

ha creat el Grup d'Ecologia del Bentos Marí. Des de fa 25 anys ha treballat en diferents camps de l'ecologia marina entre els quals es destaquen: l'estudi integrat d'ecosistemes litorals, l'estructura i dinàmica de comunitats bentòniques, ecologia del zooplàncton, ecologia tròfica d'invertebrats marins i biodiversitat i taxonomia de cnidaris. Ha dirigit més de 30 projectes d'investigació, nacionals i internacionals, i 15 tesis doctorals, i ha publicat uns 200 treballs d'investigació en revistes científiques, a més d'editar 12 llibres i escriure més de 40 treballs de divulgació. Ha centrat part del seu treball en la formació de joves estudiants, tant com a professor d'ecologia de la Universitat de Barcelona, com impartint cursos de postgrau o conferències, organitzant congressos internacionals i estades de formació d'estudiants i doctors. En l'actualitat desenvolupa projectes de recerca en el Mediterrani, l'Antàrtida, Pacífic sud i Atlàntic nord.

Begoña Vendrell Simón

(Barcelona, 1981)



És llicenciada en biologia i en antropologia social i cultural per la Universitat de Barcelona, i actualment està acabant la seva tesi doctoral a l'Institut de Ciències del Mar de Barcelona (CSIC). El seu tema de recerca és l'acoblament bentopelàgic i l'estudia particularment a la mar de Weddell, Antàrtida. És membre fundador de l'associació per a la divulgació científicocultural *Omnis cellula*, on actualment hi coordina algunes activitats, i forma part de l'equip editorial de la revista *Omnis cellula*.