

L'ANTÀRTIDA: UN CONTINENT ÚNIC

Wolf E. Arntz¹, Covadonga Orejas¹ i Josep M. Gili²

¹Alfred Wegener Institute, Bremerhaven

²Institut de Ciències del Mar (CMIMA-CSIC), Barcelona

For the major part of people that visit the Antarctic, it is one of the most beautiful places on earth. Its gigantic icebergs, ice shelves, peculiar fauna, and exceptional environmental conditions are found nowhere else on the globe. The rock and permanent ice of the Antarctic landmass cover about 14 millions km². If the ice melted, Antarctica would consist of the East Antarctic continent and the archipelago of West Antarctic leading northward to the Antarctic Peninsula. The winter sea ice roughly doubles the effective area of Antarctica. At its deepest point, the dome of the polar ice sheet is 4800 meters while the South Pole stands on 2.8 km of the ice. During the last decades the studies on both the sea ice zone and the water column have undergone profound changes as to the appreciation of these subsystems in terms of their quality and productivity. The sea ice is no longer considered as a hostile environment devoid of life except for a few warm-blooded animals which rest or reproduce on it, on the contrary: we now know that the sea ice maintains in its crevices and channels, and under its lower surface, an abundant life, rich in biomass, perfectly adapted to high salinities and low temperatures, and even revealing a certain diversity. The water column is not characterised by a generally high primary productivity as was thought two decades ago, but is rather an oligotrophic retention system that is dominated by small microalgae and protozooplankton, in which the blooms of the large diatoms are restricted principally to the Polar Front and neritic areas. On the other hand, many recent studies on the communities located on the sea floor, seem to confirm the image of an essentially complex, often diverse, system with a largely endemic fauna characterised by retarded life strategies which are adapted to the polar environment. The degree of coupling of the benthic fauna to the highly seasonal primary production is very close in some groups but quite contrary in others. This may reflect the consequences of recent glacial periods which caused a frequent shift on the continental ice edge combined with changes in sea ice cover.

Introducció

L'Antàrtida es troba situada a la zona més austral del planeta, més enllà dels 60° de latitud sud (Fig. 1). Té una superfície aproximada de 12.400.000 km², que arriba fins als 14.000.000 si hi sumem les plataformes de gel soldades a la costa. També conegut com el sisè continent, es troba geogràficament dividit en dues parts per les muntanyes Transantàrtiques: l'Antàrtida oriental, geològicament més antiga, i l'Antàrtida occidental. L'esmentada serralada es va formar durant la darrera gran orogènia que va tenir lloc a la Terra fa uns 35 milions d'anys, al mateix temps en què es van formar els Pirineus i els Himàlaia. La muntanya més alta del continent antàrtic és el mont Vinson de 4.897 m d'alçària. Des d'un satèl·lit, aquest extens continent es veu cobert per una capa de gel, que s'ha acumulat durant mil·lenis. En realitat, el gel cobreix el 98% de la superfície i té un gruix mitjà de 2,7 km que arriba quasi als 4 km al centre del continent. L'Antàrtida conté el 70% de l'aigua dolça del planeta, o el que és el mateix el 90% de tot el gel. Així doncs, és la reserva més important d'aigua dolça. Per fer-nos una idea del que representa aquesta quantitat de gel si el transforméssim en unitats de volum parlariem de 23,5 milers de milions de litres d'aigua i si es

fongués per complet, el nivell dels oceans augmentaria uns 7 m i inundaria grans extensions dels actuals continents.

El gel és l'element més omnipresent en el paisatge antàrtic. Aquesta gruixuda i pesada coberta llisca amb molta lentitud des del centre de l'altiplà vers la perifèria del continent. Més enllà de la costa, la massa gelada forma extenses plataformes o es desprèn de les glaceres i forma els icebergs (Fig. 2) que suren en el mar i són transportats gràcies als corrents marins i als forts vents. El mar que circumda l'Antàrtida, conegut amb el nom d'oceà Austral, es congela aproximadament entre març i setembre. La plataforma continental antàrtica és rocosa i estreta (uns 30 km d'amplada mitjana), i quatre vegades més profunda que en els altres continents (de 200 a 400 m de fondària mitjana), probablement, a causa de l'enorme pes del gel sobre la costa.

El continent antàrtic ha esdevingut el destí final de molts aventurers, però també el d'altres interessos amb la finalitat d'explotar-ne els recursos. Des de fa uns anys la cacera indiscriminada de foques, balenes i krill s'ha reduït gràcies a la signatura, el 1961, del Tractat Antàrtic, tot i que també a causa de la reducció de les poblacions explotades. L'Antàrtida conté importants reserves de petroli, gas, coure i altres metalls o minerals.



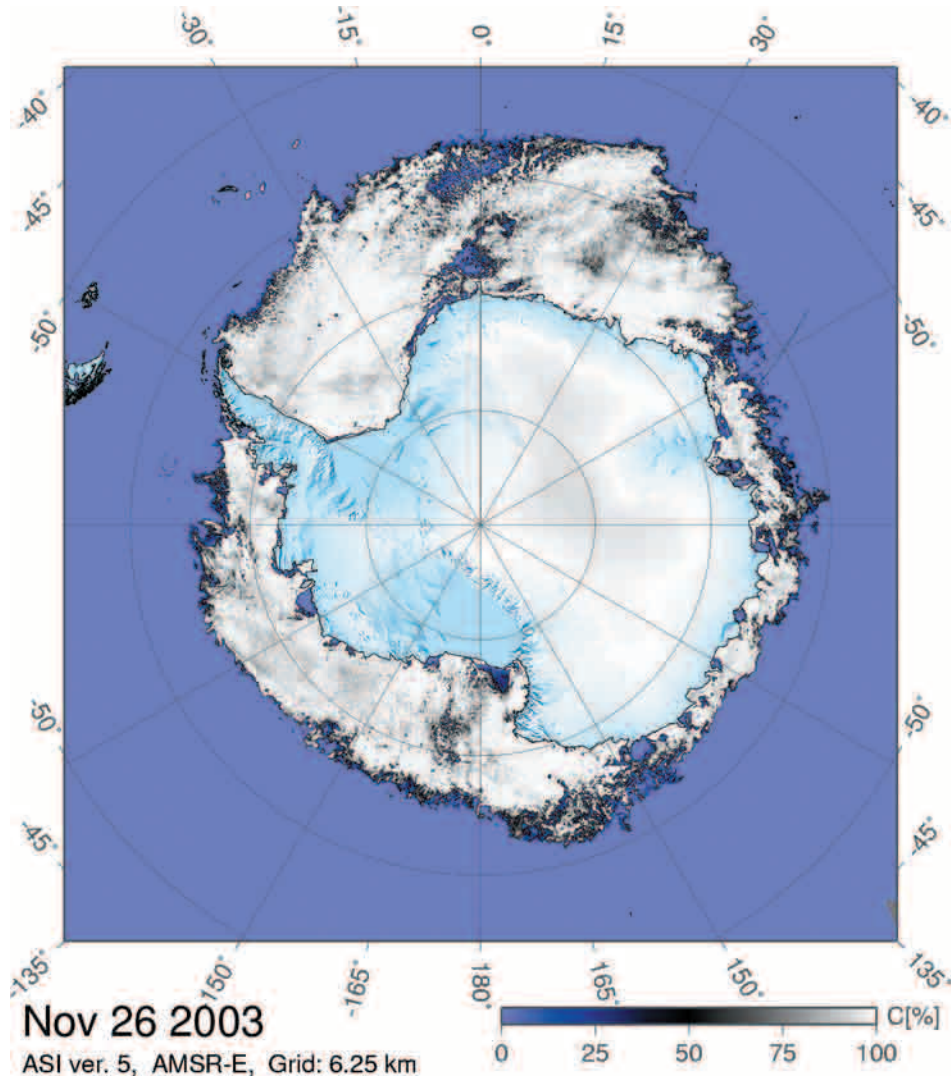


Figura 1. Fotografia de satèl·lit on es pot veure la cobertura de gel en el mes de novembre 2003 (imatge cedida pel servei de meteorologia del Alfred Wegener Institut d'Alemanya).

La situació política internacional preserva en l'actualitat el continent gelat de l'explotació humana, malgrat que les activitats pesqueres no s'han aturat per complet. La presència humana es limita a les activitats científiques i al turisme que s'incrementa any darrere any. Avui 29 països mantenen unes 42 bases destinades a la investigació científica. Durant l'estiu poden arribar a allotjar fins a 4.000 persones però no superen les 1.000 durant l'hivern.

Característiques climàtiques de l'Antàrtida

Es pot afirmar que l'Antàrtida és el continent més fred de la Terra. La temperatura mitjana anual a l'altiplà interior és de -50°C , però en les zones costeres en rars ocasions s'arriba als -40°C durant l'hivern (Fig. 3). Per contra, durant l'estiu, les temperatures a les costes i illes properes és de tan sols alguns graus per sota de zero, i en els darrers anys no han

estat rars temperatures de 8°C . El vent és un altre fet singular del continent blanc on les velocitats mitjanes són de 50 km/h. En direcció a l'Antàrtida es dirigeixen des de l'Equador els vents catabàtics, amb velocitats de fins a 300 km/h, un fet que fa que els forts vents siguin una constant en el continent (Fig. 3). Els forts temporals poden durar dies i fins i tot setmanes. A l'altiplà interior les precipitacions són tan escasses com en els deserts (la mitjana de precipitació del continent és de 145 mm/any). Aquesta manca de precipitacions i les baixes temperatures fa que els llacs i rius en el continent restin sempre coberts de gel. Els llacs subglacials, com el de Vostok localitzat per satèl·lit sota de 4 km de gel, són singulars d'aquest continent i el seu contingut és encara un misteri per a la ciència.

El gel té una influència molt important en el clima antàrtic ja que, com ja s'ha esmentat, cobreix un elevat percentatge de la superfície





Figura 2. Imatge habitual de l'estiu Antàrtic on els icebergs queden atrapats enmig de la banquisa (gel marí).

del continent. A causa d'aquest gel, de l'altitud de l'Antàrtida i del fet que aquesta es troba rodejada per masses d'aigua (l'aigua absorbeix i allibera el calor amb més lentitud que la terra) tot el clima de l'hemisferi sud es troba influenciat, i és uns 30°C més fred que l'hemisferi boreal. Per posar un exemple, a 54°N la regió de Midland, a Gran Bretanya; està coberta de boscos i hi podem trobar granges habitades, tot i que hi neva a l'hivern no hi ha glaceres. Per

contra, a 54°S hi trobem l'illa Geòrgia del Sud, coberta de glaceres i de gel perpetu que arriba fins al mar. L'escassa radiació solar que rep l'Antàrtida és reflectida quasi en la seva totalitat a l'atmosfera a causa de l'intens color blanc del gel. Això evita que la superfície tant del continent com del mar s'escalfin. Per altra banda, la pressió del gel sobre el continent fa que aquest s'enfonsi uns 1000 m. Hi ha zones del continent sota d'una capa de gel de quasi

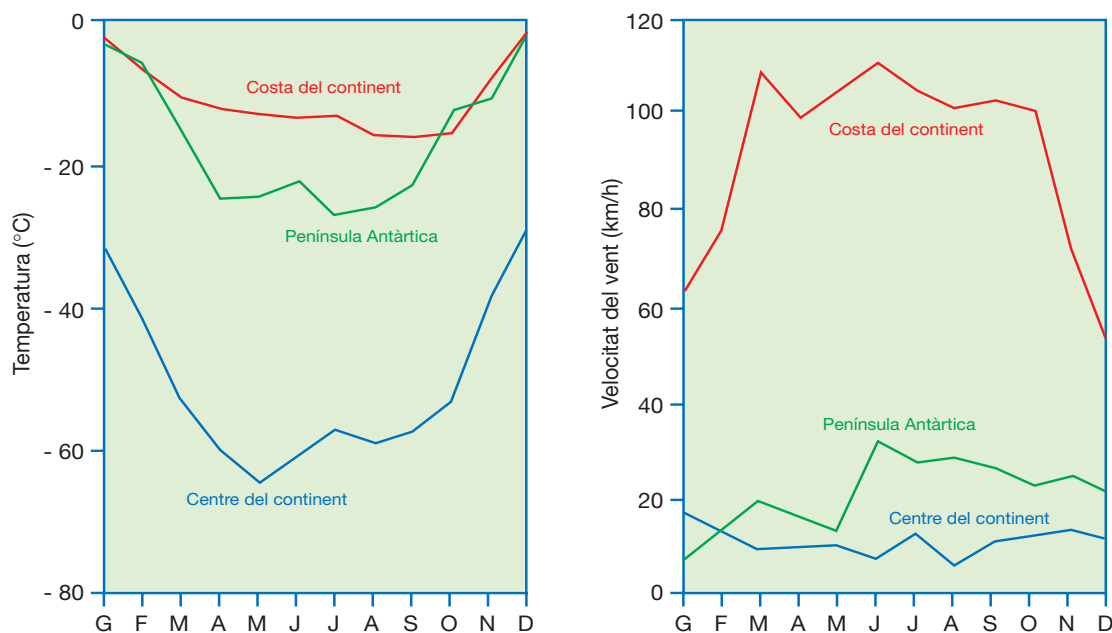


Figura 3. Variació al llarg de l'any de la temperatura de l'aire i de la velocitat del vent en tres indrets de l'Antàrtida





Figura 4. Quatre exemples de la fauna més coneguda i específica de l'Antàrtida: la foca de Weddell, el pingüi emperador, la balena franca meridional i l'albatros viatger (fotografies de J. Plötz/AWI-Alemanya, Simon & Simon Verlag i Josep M Gasol/ICM-CSIC).

5.000 m d'espessor, si no fos per la pressió d'aquest gel hi hauria serralades amb alçàries comparables a les de l'Himàlaia.

L'hàbitat antàrtic: una història singular

En aquest paisatge gelat i espectacular mai hi ha hagut poblaments humans autòctons. L'escassa diversitat d'espècies junt amb l'elevada abundància d'individus fan de l'Antàrtida un ecosistema excepcional. Va ser a l'antiga Grècia on va néixer el concepte de la "Terra Australis Incognita", en aquella època es va proposar l'existència d'una gran massa de terra a l'hemisferi sud que equilibrés el món conegut al nord de l'esfera terrestre. Però no va ser fins al segle XIX que un ésser humà va observar l'Antàrtida per primer cop. En diferents expedicions el nord-americà Nathaniel Palmer, l'anglès Edward Bransfield i el rus Thaddeus von Bellingshausen van veure per primer cop el que avui coneixem com a península Antàrtica. Al darrer d'ells se li atribueix el descobriment d'un camp de gel a 69°S a principis de 1820. El 1874, a bord del vaixell britànic *HMS Challenger* es va portar a terme una expedició científica més enllà del cercle polar antàrtic (66°33'S). Tot i que aquesta expedició també tenia finalitats científiques, el seu principal interès era la cacera de balenes i foques per a la seva explotació econòmica. Aquesta

activitat conduiria quasi a l'extinció completa de les poblacions d'aquests animals durant la primera meitat del segle XX.

Se sap poc sobre els primers colonitzadors de l'Antàrtida. Van ser principalment caçadors a la recerca de la greix que proporcionaven les balenes i les foques, una font energètica essencial per a la nostra civilització fins que van arribar els combustibles fòssils amb la revolució industrial. Aquests caçadors no tenien el costum d'explicar a on obtenien les captures i de fet avui dia només trobem les seves petjades en algunes bases abandonades de la península Antàrtica o de les illes subantàrtiques. Les aigües de la península Antàrtica es caracteritzaven per tenir grans colònies d'aquests mamífers marins que s'alimentaven en aquesta àrea de les per aquell temps encara inesgotables reserves de krill. Aquest petit crustaci, base de la seva alimentació, també ha estat el punt de partida de la recerca científica al continent antàrtic.

La recerca dels lligams entre les espècies: la identificació de la cadena tròfica

Els primers pobladors que van trepitjar l'Antàrtida fa més de dos segles van quedar impressionats per l'abundant fauna que la poblava: balenes, foques, pingüins i aus marines voladores (Fig. 4). La riquesa i els colors



de la part inferior del gel també els va intrigar i van descobrir que era deguda a una elevada concentració d'algues microscòpiques i unicel·lulars anomenades diatomees (Fig. 5). Aquest pioners antàrtics van concloure, a partir d'aquestes observacions, que aquests organismes constituïen la base d'una rica cadena tròfica.

Des d'aquells temps i fins fa poc menys de 20 anys, es creia que l'oceà Austral era uns dels ecosistemes marins més rics de la Terra, amb una cadena tròfica molt senzilla en què les diatomees eren l'aliment dels abundants crustacis coneguts com a krill, que al seu temps constituïen la font d'aliment de peixos, balenes, foques i ocells. Actualment sabem que aquesta cadena és una simplificació excessiva de la realitat. Encara que a l'oceà Austral o Antàrtic hi ha àrees extremadament productives, si el considerem en la seva totalitat, no és més productiu que molts altres oceans del món pobres en nutrients i la seva biologia és tan complexa com la de les zones d'aigües càlides. L'oceà Antàrtic és, en realitat, un conjunt de diversos ecosistemes connectats entre si, és més que un únic gran ecosistema.

L'ambient físic de l'oceà Antàrtic

A l'oceà Austral hi convergeixen els oceans Pacífic, Atlàntic i Índic i no té límits geogràfics cap al nord (cap el sud queda limitat pel continent antàrtic). De totes maneres, existeixen característiques físiques i químiques de les masses d'aigua de l'oceà Austral i dels patrons de circulació atmosfèrics que permeten diferenciar una sèrie de fronteres circulars, més o menys concèntriques, que separen



Figura 5. Superfície de la banquisa de gel trencada pel desplaçament del vaixell on es poden veure trossos de gel girats i amb color marró a causa de l'elevada concentració d'algues al seu interior.

l'Antàrtida de l'Àfrica del sud, Amèrica del sud i Nova Zelanda.

Al voltant dels 50°S existeix una frontera física en les aigües oceàniques anomenada Front Polar o Convergència Antàrtica. És una zona que ocupa els primers 500 m de fondària on l'aigua freda (propera als 0°C) que prové de l'Antàrtida es troba amb l'aigua relativament més càlida i salada que flueix des del tròpic. A l'oceà Austral la circulació atmosfèrica i marina és molt similar perquè no existeixen barreres geogràfiques que obstaculitzin el seu camí. Ambdós fluxos es mouen rodejant l'Antàrtida en el sentit de les agulles del rellotge, és a dir, ciclònicament per tractar-se de l'hemisferi sud (Fig. 6). Els forts vents circumpolars friccionen amb l'oceà i provoquen al voltant de l'Antàrtida un cinturó amb els mars

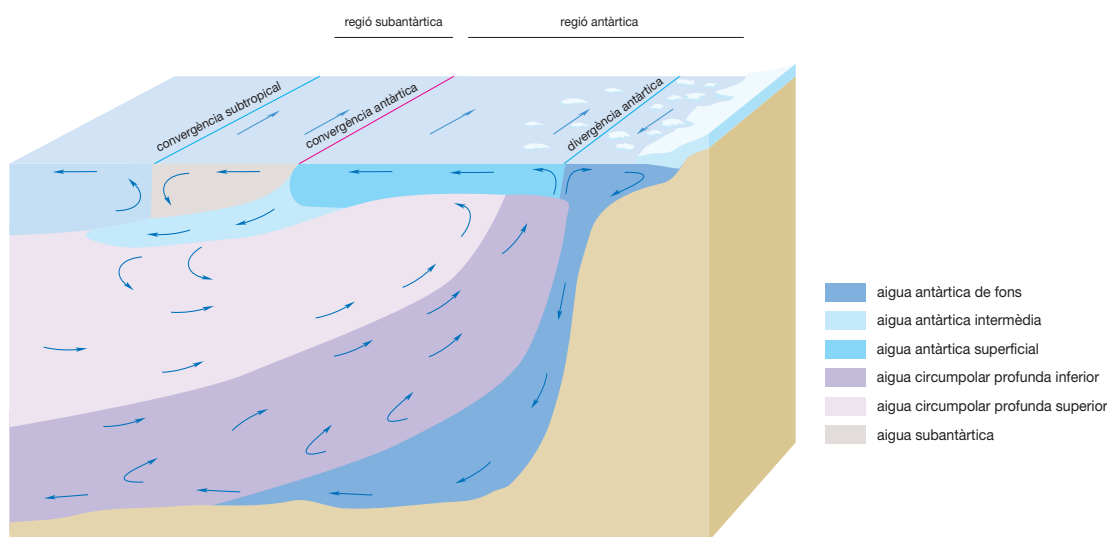


Figura 6. Esquema on es poden veure les diferents masses d'aigua de l'oceà Antàrtic delimitades en superfície per tres fronts hidrogràfics (dibuix J. Corbera a partir de fonts diverses).



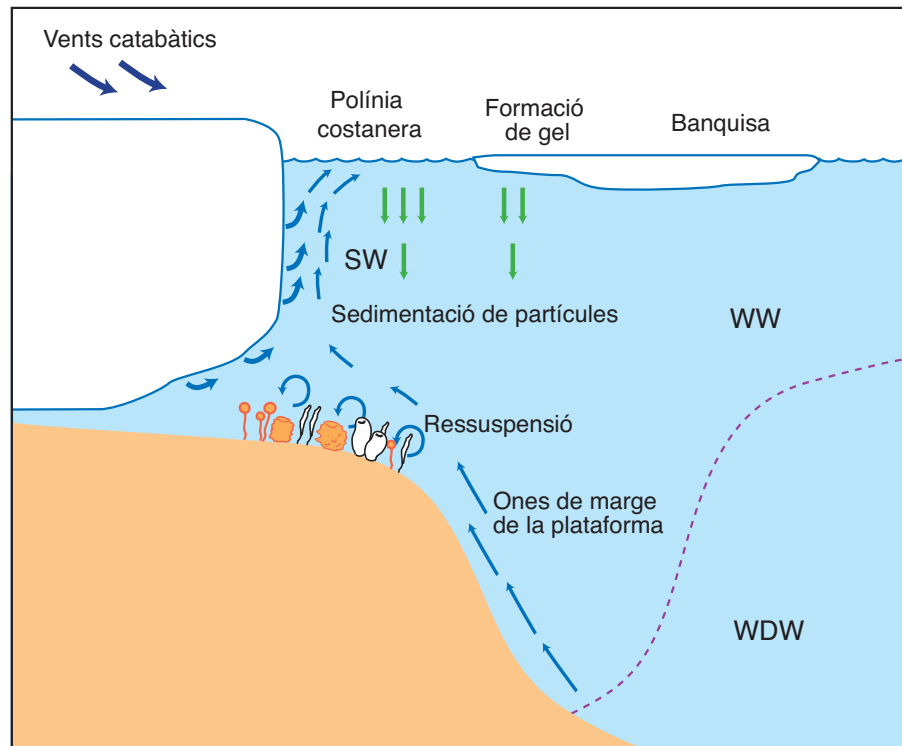


Figura 7. Esquema on es poden veure les tres masses d'aigua del mar de Weddell (SW, del sud i superficial, WW de l'oest i també superficial i WDW aigua profunda). Les fletxes blaves indiquen moviments d'aflorament quan s'obren les polímies i les verdes la caiguda d'algues i altres organismes des de la superfície cap al fons (dibuix modificat de R. Sharek).

més turmentosos i els onatges més alts del planeta. Prop dels 65°S trobem la Depressió Circumpolar, un fenomen de circulació atmosfèrica molt variable. Els vents al nord d'aquesta depressió bufen en direcció est, mentre que al sud ho fan en direcció oest. Això genera, a la superfície del mar, una zona de divergència de les aigües que es coneix amb el nom de Divergència Antàrtica. A més, també generen dos grans girs ciclònics oceànics als mars de Weddell i de Ross.

L'aigua superficial (entre els 0 i els 500 m de profunditat, aproximadament) al nord de la Divergència Antàrtica segueix el mateix model de circulació que els vents, és a dir en direcció est i origina el corrent Circumpolar Antàrtic. Quan aquest corrent travessa el pas de Drake (la separació d'uns 1.000 km entre la Patagònia i l'Antàrtida) es comprimeix com en un embut i es converteix en un dels corrents més ràpids de tots els oceans. Durant l'hivern austral el mar es congela i forma una capa de gel que pot arribar a cobrir fins a 20 milions de km², és a dir, duplica l'extensió del continent (18 milions de km²) que arriba així quasi fins als 40 milions de km². Amb la formació del gel la salinitat de les aigües properes a la zona congelada augmenta (A l'inici del procés, el gel només pot contenir al voltant d'un 15% de les sals dissoltes a l'aigua de mar) i amb ella la seva densitat. Aquesta aigua és la més densa

i freda de tots els oceans i s'anomena Aigua Antàrtica de Fons. A causa de les seves característiques físiques, aquesta massa d'aigua s'enfonsa i inicia un llarg camí cap al nord per les capes més pregones de l'oceà transportant fred (reduïx la temperatura de més de la meitat del fons de l'oceà en aproximadament 2°C) amb el que contraresta l'efecte dels tròpics. Per altra banda, amb aquesta aigua s'enfonsen importants quantitats de CO₂ dissolt. L'extensió de la capa de gel té associat un important augment de la reflexió de l'energia que prové del Sol. Aquest fet evita que gran superfícies del mar s'escalfin i rebin la llum solar. Tots aquests fenòmens evidencien la gran importància de l'Antàrtida en el control del clima mundial.

L'Antàrtida és la zona de formació d'aigua més gran del món, i en aquest context, el mar de Weddell ocupa un lloc destacat. Cada any, a causa dels vents catabàtics, del moviment de les mareas i de les ones de gran longitud d'ona, la capa de gel acabada de formar arran de la costa es trenca i s'obre un espai lliure de gel anomenat polínia. En aquests llocs, que poden tenir fins a 300.000 km² d'extensió, la superfície del mar es torna a congelar i altre cop es forma aigua freda d'alta densitat que torna a enfonsar-se, tal i com havia succeït durant la primera formació de gel marí de la temporada. Quan aquestes pilínies es formen



i el gel deixa un espai lliure, es produeix un desplaçament de les aigües superficials que genera una surgència d'aigües menys salades provinents de la plataforma continental. Aquest flux transporta nutrients i oxigen dissolt de les capes profundes cap a les superficials i crea les condicions favorables perquè es produeixin afloraments de fitoplàncton (microalgues marines) (Fig. 7). L'extensió de 20 milions km² de gel que havia trigat 8 mesos per formar-se (de febrer a setembre) es redueix a 3,5 milions en menys de 4 mesos (d'octubre a gener) durant la primavera i l'estiu australs. Aquest procés forma una massa d'aigua del desglaç molt freda i de baixa salinitat que s'anomena Aigua Superficial Antàrtica. Aquesta aigua es desplaça cap al nord i en arribar al Front Polar es troba amb l'Aigua Superficial Subantàrtica més calenta i salada, però menys densa. Això provoca que l'Aigua Superficial Antàrtica s'enfonsi i permeti un flux de calor del tròpic cap al sud. Els sistemes de circulació oceànica i atmosfèrica antàrtica són doncs uns mecanismes reguladors de la temperatura global que evita que els pols siguin més freds i els tròpics més calents.

La història d'un continent aïllat

Fa aproximadament 180 milions d'anys la superfície terrestre estava coberta per dos grans continents envoltats d'aigua. A l'hemisferi nord hi havia Lauràsia que després esdevindria l'actual Amèrica del Nord, Europa i Àsia. A l'hemisferi sud, Gondwana, format pel que avui

coneixem com l'Antàrtida (al centre) que estava envoltada per Àfrica, Austràlia, Nova Zelanda, Índia i Amèrica del Sud (Fig. 8). Quaranta milions d'anys més tard Gondwana va iniciar la seva fragmentació. Primer en dos parts, després (fa uns 50 milions d'anys) la meitat est es va tornar a dividir i l'Antàrtida es va separar d'Austràlia i es va anar desplaçant cap al sud, fins que ara fa uns 30 milions d'anys va esdevenir un continent aïllat al pol sud del planeta. Al mateix temps, a la Terra tenia lloc una glaciació i l'Antàrtida va començar a transformar-se en un continent gelat.

L'oceà Austral i els corrents circumpolars antàrtics es van anar constituint després de la divisió del supercontinent Gondwana, ara fa 40 milions d'anys. Les evidències fòssils indiquen que el corrent Circumpolar es va establir fa uns 27 milions d'anys i en fa uns 22 que es va formar el Front Polar (també conegut com a Convergència Antàrtica). Aquest front és un dels límits oceànics més grans de la terra i constitueix una barrera biològica molt important.

L'hàbitat biològic antàrtic

Els límits de l'oceà Austral no estan definits amb claredat perquè estan connectats amb les àrees australs dels oceans Atlàntic, Índic i Pacífic, però es pot establir que representen entre un 10 i un 20% de tots els mars del planeta. Tot i que el corrent Circumpolar circula en direcció est, prop del continent els corrents van en direcció contrària. La silueta de l'Antàr-



Figura 8. Situació del continent Antàrtic quan formava part del continent de Gondwana ara fa uns 300 milions d'anys (Dibuix J. Corbera)



tida amb els mars de Ross i de Weddell, la península Antàrtica i els diferents contorns del fons canvien les velocitats i la direcció dels corrents i donen lloc a corrents específics d'aquesta zona. Les barreres oceàniques entre els diferents corrents determinen les característiques i condicions del gel marí i el nivell d'activitat biològica. A causa d'aquestes variacions i irregularitats dels moviments de les masses d'aigua, la vida al voltant del continent té una distribució molt desigual.

Malgrat que és el continent més fred del planeta el factor que més influeix en la vida a l'Antàrtida no és la temperatura sinó la llum. En l'ecosistema marí totes les formes de vida depenen del desenvolupament del fitoplàncton. Aquest grup de microorganismes és la primera balda de la cadena tròfica marina. Transforma els nutrients dissolts i el CO_2 en material particulat (és a dir, aliment accessible per a organismes de nivells tròfics superiors) per mitjà de la fotosíntesi, un procés químic impossible de portar a terme sense llum. A l'Antàrtida, el creixement del fitoplàncton, a diferència de la resta de mars, no està limitat per la disponibilitat de nutrients, sinó pels sis mesos d'obscuritat i pel gel, i la gran quantitat de núvols que redueixen la radiació que arriba a la superfície de l'oceà. El fitoplàncton aconseguit adaptar-se a la presència de gel de tal manera que les zones de frontera, on el gel es desfà, són àrees d'alliberament de cèl·lules i de consecutives proliferacions de fitoplàncton. Un dels grups de microalgues més importants i abundants a l'Antàrtida és el de les diatomees. El material cel·lular d'aquestes algues està protegit per una càpsula de sílice que la mateixa cèl·lula forma a partir de l'àcid silícic dissolt a l'aigua. Quan les diatomees moren o són menjades per organismes més grans (el zooplàncton) les càpsules de sílice biogènica, també conegut com òpal, o els seus fragments es precipiten cap als fons marins. En el sediment antàrtic queda sepultat entre un 50 i un 75% de tota la sílice que entra al medi marí. El fitoplàncton també té un paper molt important en el cicle del carboni perquè és el responsable de convertir el CO_2 atmosfèric en carboni orgànic particulat. A diferència de la sílice, no més d'un 1% del carboni del medi marí queda sepultat a l'Antàrtida, que és aproximadament el 5% del que produeix el fitoplàncton a les aigües superficials de l'oceà Austral.

El principal depredador del fitoplàncton a l'Antàrtida és el krill (Fig. 9). Aquest crustaci de fins a 65 mm de longitud i similar a una gamba és la base alimentària de peixos, pingüins, aus marines, balenes i foques, el potencial econòmic de les quals va ser durant molts anys el principal promotor de l'aventura antàrtica. El flux de matèria orgànica cap al fons del



Figura 9. Exemplars de krill antàrtic, un dels metazoos més abundants de la Terra (Foto de U. Kils/AWI).

mar per mitjà dels paquets fecals del krill és molt important, pel que aquests crustacis no tan sols proporcionen energia als animals que s'alimenten a la columna d'aigua sinó també als que habiten sobre el sòl marí (el bentos). No obstant això, la presència de krill com la de fitoplàncton experimenta una estacionalitat molt marcada i les densitats més elevades tan sols estan presents durant alguns dies de la temporada primavera-estiu. El flux de material orgànic des de la superfície cap al fons és pràcticament nul el 80% de dies de l'any. Malgrat això, els organismes del bentos reben matèria orgànica de forma contínua. Això és degut al fet que a les zones poc profundes com les àrees costeres i la plataforma continental (que a l'Antàrtida arriba fins als 800 m de fondària) el sediment dipositat en temporades anteriors es ressuspen sota l'acció de les marees i els corrents, i es desplaça cap al mar més profund. Aquest flux d'aigua amb un alt contingut de matèria en suspensió manté comunitats bentòniques molt riques i diverses a diferents profunditats.

Les regions de l'oceà Antàrtic

L'oceà Austral es pot dividir en tres zones molt diferents pel que fa a la seva biologia i que vénen determinades per les diferències ambientals.

La zona permanent d'aigües obertes es caracteritza per ser rica en nutrients, però presenta uns nivells relativament baixos de producció primària. El flux principal prové del corrent Circumpolar Antàrtic. El fitoplàncton és generalment petit, entre 2 i 20 μm pel que s'anomena nanoplàncton. Aquests organismes són l'aliment de diferents grups animals però no del krill.

La zona coberta estacionalment pel gel que queda lliure durant els mesos d'estiu, és la zona més productiva de l'oceà Austral. Les proliferacions de fitoplàncton són freqüents a les parts superficials on les aigües són menys salines a causa dels desglaç del gel marí. El krill és abun-



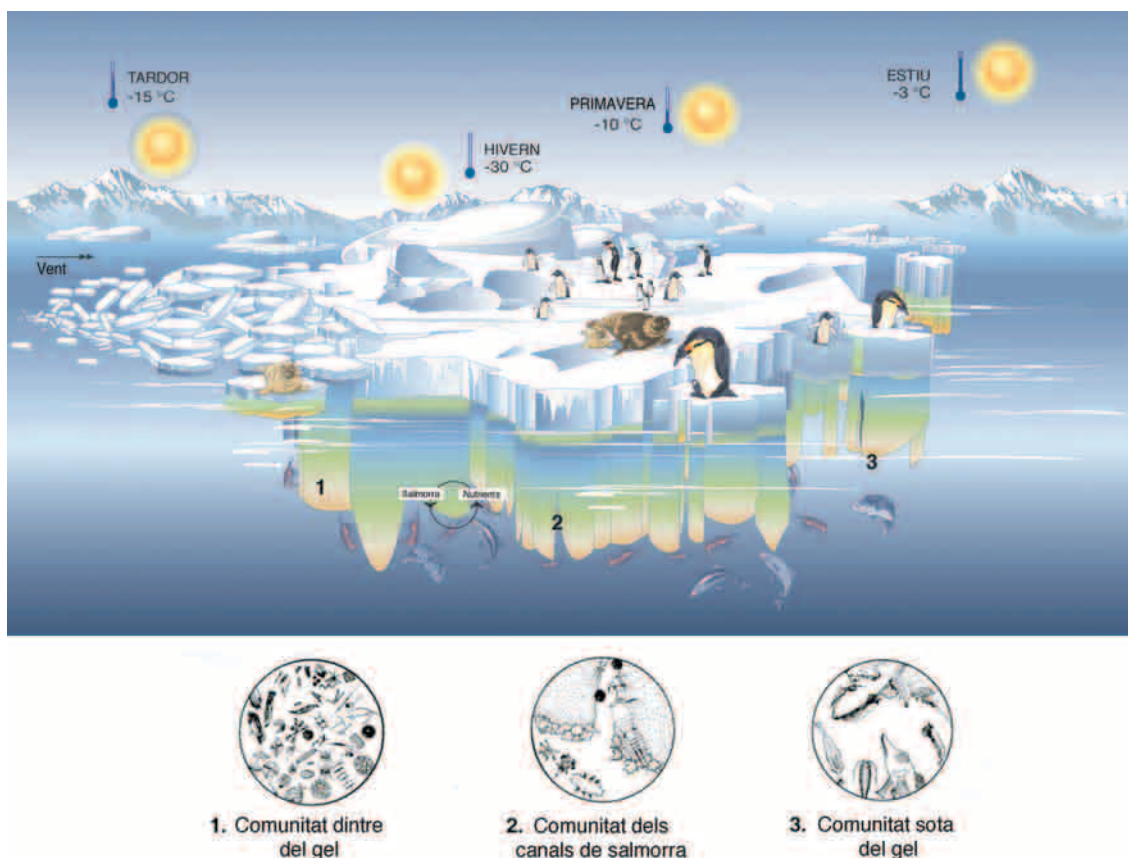


Figura 10. Esquema on sintetitzen les comunitats biològiques associades a la banquisa de gel al llarg de l'any. (dibuix modificat d'Arntz, 1997).

dant en aquesta zona, sobretot a les àrees més al sud. Les foques menjacrancs, alguns pinguïns i altres aus exploten les grans existències de krill antàrtic (*Euphausia superba*).

La regió més al sud o Alta Antàrtida, la zona costanera i la de la plataforma continental són també conegudes com la Zona Permanent de la banquisa. Les proliferacions de fitoplàncton en aquesta regió poden ser molt intenses però de curta durada. Aquí el krill antàrtic és escàs i és substituït per una espècie similar, *Euphausia crystallophias*. Aus i mamífers són aquí menys abundants que a la zona estacionalment coberta pel gel.

El gel marí

La temperatura de congelació de l'aigua del mar depèn principalment de la salinitat. Al voltant de l'Antàrtida, el punt de congelació és proper al -2°C i pot arribar als -4°C . Aquestes temperatures extremes impedeixen la vida i el desenvolupament de moltes espècies en aquest hàbitat mentre que aquelles que hi viuen han experimentat un procés d'adaptació a aquest medi singular.

El gel marí és l'hàbitat més extens per als organismes microscòpics, un fet que va ser ja

observat pels primers exploradors antàrtics. Les diatomees creixen sota el gel, en el límit entre el gel i la neu, i fins i tot a l'interior del gel marí o banquisa. Els petits canals i cavitats que es formen en el gel són el refugi de molts animals petits que s'alimenten de microorganismes. El gel és, a més, una plataforma en la qual algunes espècies de focs i pinguïns crien o utilitzen per a descansar. La major part dels microorganismes que viuen durant tot l'any a l'interior del gel de la banquisa ho fan en un ambient hipersalí, a causa de l'elevada concentració de sals que es genera al voltant del gel quan l'aigua se solidifica (Fig. 10).

Encara que el gel marí presenta una gran superfície i activitat biològica, sabem que els processos ecològics que succeeixen en i sobre el gel marí es troben limitats per diversos factors; la quantitat de llum que arriba a la columna d'aigua per sota el gel marí és massa baixa per poder posar en marxa el procés fotosintètic del fitoplàncton. De tota manera, hi ha ambients que afavoreixen el creixement de les algues tant a dins com a la part inferior del gel marí: concentracions extremadament elevades d'algues poden créixer en aquests llocs. Els dies amb radiació solar intensa, l'oxigen és produït per les algues més de pressa



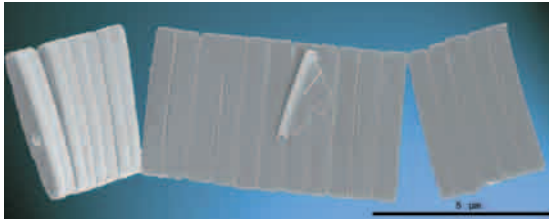


Figura 11. Cadena de diatomees que viuen a l'interior de les cavitats del gel marí fotografiada en el microscopi electrònic d'escandall (Foto J.M. Fortuño/ICM-CSIC).

del que pot difondre's i és captat per les bombolles que es formen sota el gel, envoltant així els organismes que produeixen oxigen. Atés que l'oxigen a concentracions elevades resulta tòxic i que els organismes queden confinats a petits canals i cavitats, en moltes ocasions, per sobreviure, la millor estratègia és inhibir la fotosíntesi. Les algues (Fig. 11) i la comunitat microbiana de protozoos (animals unicel·lulars) i bacteris que viuen a la part inferior del gel són l'únic aliment disponible pels herbívors planctònics que s'alimenten filtrant i capturant cèl·lules de fitoplàncton, en les èpoques en què el mar està cobert de gel, i que pot ser durant nou o deu mesos a l'any. Les algues que viuen sota els paquets de gel (gel que es troba molt més lluny que el gel sòlid que porta el corrent) són el menjar per al krill. La distribució d'aquestes algues i dels microorganismes associats és extremadament desigual. Les zones de més activitat biològica sota el gel es troben a les àrees on els vents són més forts, escombren així la neu dipositada sobre el gel i permeten que hi pugui penetrar més llum. L'edat i la tex-

tura del gel són factors que també influeixen en la composició de les espècies que l'habiten i en l'abundància de les comunitats microbianes.

Durant la primavera i l'estiu, el gel barrejat en la zona del marge del gel produeix un cinturó d'aigua superficial menys salina. Les proliferacions de fitoplàncton en aquesta zona rica en nutrients, que rep 24 hores de llum solar i dona lloc a àrees d'elevada producció, són capaces de mantenir una elevada diversitat biològica i riquesa en nombre d'individus. Aquest fet impressionà els primers exploradors de la regió.

Des de ja fa uns anys hi ha una seriosa preocupació sobre l'escalfament global i que aquest fet pugui donar lloc a la reducció de la quantitat de gel al voltant de l'Antàrtida, disminuint així la producció d'Aigua Antàrtica de Fons. Models matemàtics indiquen que la reducció de la barreja vertical dels oceans podria produir un estancament en l'aigua del fons de l'Antàrtida, esgotar-ne el contingut en oxigen i, en conseqüència, impedir el desenvolupament de la vida. La disminució de la quantitat de gel podria significar la reducció de l'hàbitat pels organismes que l'ocupen, així com desembocar en una situació de reducció del volum de les aigües relativament menys salines que es produeixen a partir del desglaç dels marges del gel marí i continental.

Peculiaritats dels hàbitats de l'Antàrtida

En general, la fauna antàrtica presenta un elevat grau d'endemisme, és a dir, les espècies que l'habiten són en la gran majoria autòctones de les aigües circumdants del



Figura 12. Visió simplificada de l'efecte que fa un iceberg sobre el fons marí quan es desprèn del gel continental (figura modificada de Conlan et al 1998).



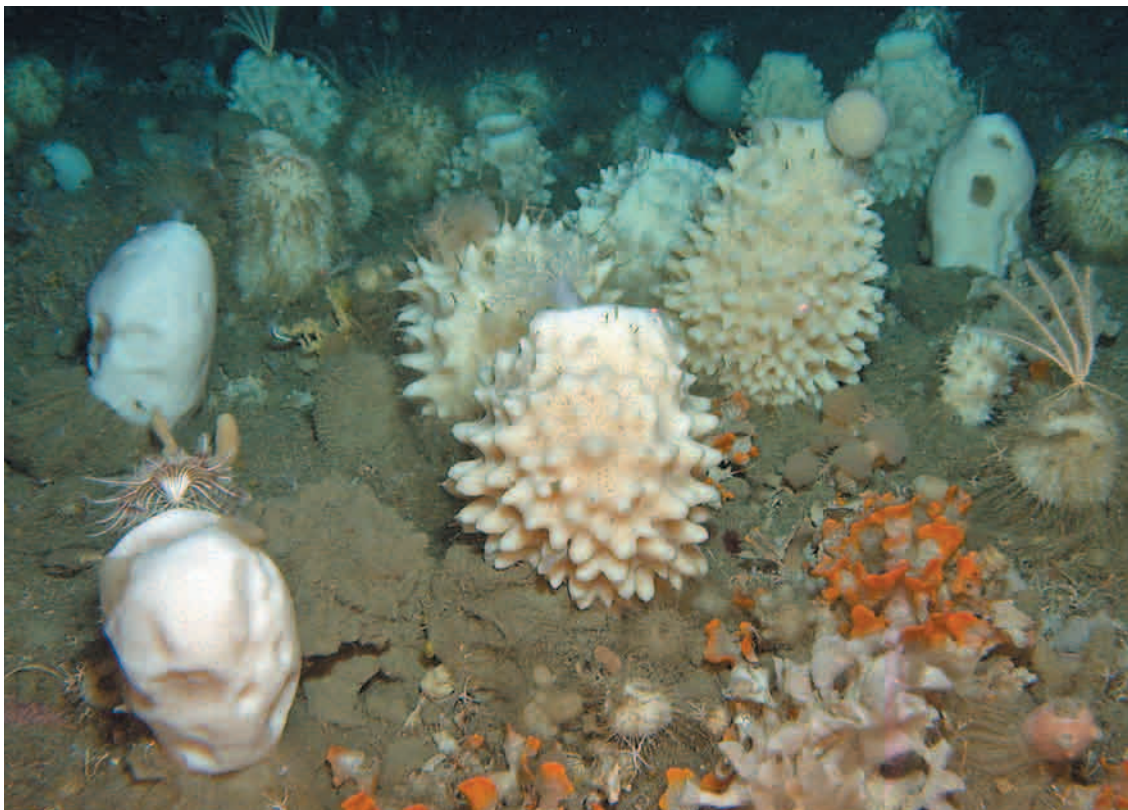


Figura 13. Fons marí a 350 metres de fondària del mar de Weddell dominat per esponges silícies (Foto J. Gutt/AWI, Alemanya).

continent. Aquest fenomen és degut al fet que el corrent d'aigua del Front Polar actua com una frontera física. Una curiositat paleontològica és que s'han trobat famílies properes a les espècies actuals antàrtiques a les aigües costaneres de l'Índia, Austràlia, Nova Zelanda, Amèrica del Sud, i Sud-àfrica, que recorden l'època del continent Gondwana. Els organismes bentònics (aquells que viuen en el fons marí), poden viure enterrats (cucs, bivalves, crustacis) o sobre el sediment. Alguns estan fixos –sèssils– com les esponges, gorgònies i corals, entre altres, o bé presenten la capacitat de poder moure's com les anèmones, estrelles de mar, crustacis, peixos, etc. En els primers metres de profunditat, l'erosió dels blocs de gel és molt severa i impedeix el desenvolupament dels organismes fixos (Fig 12). A mesura que augmenta la profunditat, la riquesa biològica i la biomassa també incrementen. En determinades àrees la diversitat i la complexitat estructural d'aquestes comunitats s'ha comparat amb els esculls de coral de les zones tropicals. Per posar un exemple, hi ha esponges (del grup dels hexactinèl·lides) que poden mesurar fins a 2 metres d'altura i tenir centenars d'anys (Fig 13).

En l'àmbit unicel·lular, la diferència entre plantes i animals resulta difícil. Actualment estan agrupats i se'ls denomina protists. El fitoplàncton són algues unicel·lulars, micros-

còpiques i flotants. Més de 200 espècies han estat identificades en aigües antàrtiques i són sorprenentment diverses en mida, forma manera de viure i taxa nutricional. La seva forma varia de quasi esfèrica, a tubular. Amb la finalitat de simplificar-ne l'estudi, el fitoplàncton es divideix en tres categories, segons la mida dels seus components: picoplàncton (0,2-2 μm), nanoplàncton (2-20 μm) i microplàncton (20-200 μm). Els organismes nano i picoplanctònics són generalment els més abundants i diversos.

Com tots els vegetals, el fitoplàncton necessita la llum per fer la fotosíntesi, així el diòxid de carboni i l'aigua es converteixen en sucres i oxigen. Tal i com ja s'ha vist en un dels apartats anteriors, la llum és un bé escàs durant l'hivern antàrtic. En aquesta època de l'any, el mar està cobert de gel i neu, i es redueix de manera considerable la quantitat de llum que penetra fins a la columna d'aigua. Durant l'estiu, quan el sol brilla durant les 24 hores del dia i el gel es fon, el fitoplàncton creix ràpidament. Les proliferacions de microplàncton durant l'estiu són, per tant, una important font d'aliment per al krill.

Les concentracions de nutrients que afavoreixen el creixement del fitoplàncton –nitrogen i fòsfor– i en el cas de les diatomees, sílice– són elevades a l'oceà Austral, encara que les concentracions de fitoplàncton són més



baixes que en molts altres oceans del món que a la vegada presenten un nivell de nutrients similar. L'oceà Austral és una de les àrees oceàniques descrites com "Elevada concentració de nutrients-baixa concentració de clorofil·la". Aquest fet és el que es coneix com "Paradoxa Antàrtica" i pot explicar-se per la combinació dels factors físics, químics i biològics. L'oceà Austral es troba sota la influència de vents poderosos que barregen les aigües superficials oceàniques. Aquest procés de barreja pot arribar fins a més de 100 metres de profunditat, i afecta per tant el fitoplàncton que és desplaçat a més profunditat on la lluminositat no es suficientment intensa per permetre la fotosíntesi. Encara que les concentracions dels nutrients essencials són elevades, el ferro (essencial per al creixement del fitoplàncton) és un microelement que es troba a baixes concentracions. En condicions de baixa lluminositat, el ferro adquireix un paper més rellevant per al fitoplàncton. Per tant, ambdós factors: concentració del ferro i lluminositat són limitants per al creixement del fitoplàncton.

Els microorganismes

A més de les plantes unicel·lulars, existeixen animals unicel·lulars (protozous) que s'alimenten del fitoplàncton, bacteris i detritus suspesos a l'aigua. Aquests sers unicel·lulars, són molt diversos en forma, mida i tipus de vida. Alguns filtren l'aliment de l'aigua, altres es desplacen per les superfícies mentre capturen l'aliment i altres són caçadors ferotges. Algunes algues unicel·lulars són capaces de fer la fotosíntesi durant tot l'any, fins i tot a l'hivern quan els nivells de llum són molt baixos. En l'altre extrem es troben els protozous, que retenen els sistemes fotosintètics del fitoplàncton que consumeixen i utilitzen els productes fotosintètics com a aliment.

Els organismes unicel·lulars filtren quantitats importants de bacteris i fitoplàncton. Els bacteris s'alimenten de la matèria orgànica dissolta produïda pels organismes, concretament pel fitoplàncton. Els protozous serveixen d'aliment per al krill i altres herbívors, i tant els protozous com els bacteris representen un graó en la cadena tròfica entre el fitoplàncton i els filtradors superiors. Aquesta cadena ha estat redefinida en els darrers anys com a xarxa, ja que connecta diversos nivells no de manera lineal sinó en diferents direccions, i per això ha rebut el nom de xarxa tròfica microbiana.

En tots els oceans del món, els bacteris són el component més important de la cadena alimentària, l'oceà Austral no és una excepció (Fig. 14). La concentració d'aquests organismes es d'un bilió per litre, i el seu paper resulta fonamental ja que són els res-

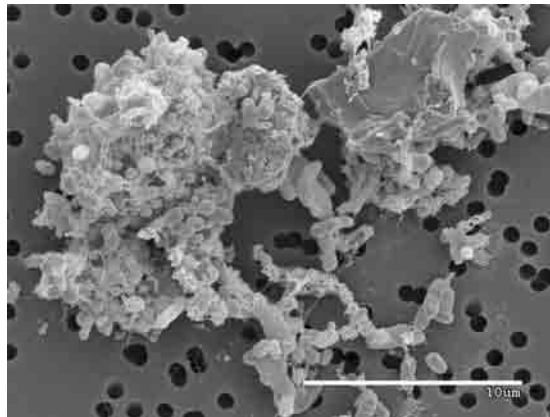


Figura 14. Fotografia al microscopi electrònic d'escandall on es veuen els bacteris que viuen dintre de les cavitats del gel de la banquisa (Foto J.M. Fortuño/ICM-CSIC)

ponsables de la descomposició de la matèria orgànica, de la qual extreuen els nutrients. Els bacteris tenen diferents papers en els ecosistemes: alguns viuen juntament amb el fitoplàncton, on poden influir en els valors de les concentracions de nutrients, però d'altres actuen dissolvent el mucus de les superfícies de les diatomees (els bacteris poden canviar la viscositat del fitoplàncton i per tant alterar-ne la capacitat per formar cadenes). Com a conseqüència, l'activitat bacteriana influeix en la dinàmica i evolució de les proliferacions d'algues. Els bacteris estan implicats en els processos de dissolució de silicats, el principal component de les parets de les cèl·lules de les diatomees. El reciclatge per part dels bacteris d'aquests nutrients dóna lloc al creixement de les diatomees, encara que el silicat comença a ser eliminat en la superfície de l'aigua quan les diatomees mortes hi suren. Els bacteris segreguen enzims digestius per dissoldre material orgànic. Aquests enzims disgreguen el material, que retorna de nou a la superfície de l'oceà en forma de nutrients. Els bacteris són per tant crucials en els processos biològics marins, i juguen un paper important en la cadena alimentària, la xarxa microscòpica, les partícules en suspensió i la fixació i emmagatzematge del carboni.

Les estructures biològiques més petites són els virus. Aquests estan formats per un sol tipus d'àcid nucleic (ADN o ARN) envoltat d'una càpsida proteica i en alguns casos, d'un envoltori, que utilitza la maquinària biosintètica de la cèl·lula hoste per multiplicar-se. Els virus no poden considerar-se com éssers vius ja que no poden metabolitzar-se o reproduir-se per ells mateixos, són així estructures que es troben a mig camí entre el viu i l'inert. Els virus infecten les cèl·lules d'altres organismes –a les quals a partir d'aquest moment denominarem cèl·lula hoste–, entren en el seu sistema reproductor on es reproduïxen de



manera massiva nous virus que, després de la ruptura de la cèl·lula hoste, infecten noves cèl·lules. La seva abundància a l'oceà Austral és similar als altres oceans, uns 10 bilions per litre. El paper dels virus s'ha començat a estudiar recentment. Probablement, infecten tot tipus d'organismes marins, i influeixen en la composició de les espècies de les comunitats microbianes i en el cicle dels nutrients, però poden també estar involucrats en la transferència del material genètic entre els organismes que actuen d'hostes. Segons resultats d'investigacions actuals, la infecció vírica és responsable del 50% de la mortalitat de bacteris marins i pot inhibir la producció del fitoplàncton fins a un 80%. La destrucció dels bacteris per part dels virus és una de les fonts de producció més gran de matèria orgànica dissolta al mar, la qual és de nou consumida pels bacteris. Fa tan sols una dècada, els virus marins no eren considerats importants; actualment la pregunta és: poden els virus controlar la vida als oceans?

El krill i altres herbívors planctònics

El krill –aliment de peixos, ocells i mamífers– és un element estratègic en l'ecosistema de l'oceà Austral, on constitueix una de les bases més importants de la cadena tròfica antàrtica. Segurament, el krill és un dels organismes més abundants en el nostre planeta. L'abundància i distribució d'aquests crustacis varia any rere any, en alguns casos amb importants conseqüències per als seus depredadors.

Existeixen unes 80 espècies diferents de krill. En el context antàrtic, el terme krill es refereix al krill antàrtic (*Euphasia superba*), la més gran i abundant de les cinc espècies d'eufausiacis que habiten l'oceà Austral. L'espècie d'eufausiaci que domina les aigües

costaneres antàrtiques es *Euphasia crystallophias*, també anomenada krill de cristall, una espècie més petita que el krill antàrtic.

Considerant la seva abundància i importància, es coneix poc sobre el krill. L'estimació de la seva abundància és molt difícil a causa de la seva distribució de taques i a la seva habilitat per escapar de les xarxes de mostreig. La darrera estimació, basada en boies, sondes i revisions d'informació històrica, està entre 60 i 155 milions de tones per any. Estudis recents indiquen que en algunes zones ha disminuït en els darrers 20 anys, les raons d'aquesta disminució encara no es coneixen (Fig. 15).

El cicle de vida del krill és molt complex. Es creu que la posta d'ous té lloc a prop de la superfície, entre finals de desembre i març. Les femelles poden produir uns 10.000 ous, segons la disponibilitat d'aliments. Els ous, d'uns 0,5 mm de diàmetre, es troben suspesos a la columna d'aigua a profunditats de 1.000 metres on eclosionen. Els embrions passen per diferents estadis larvaris que no necessiten aliment, posteriorment migren cap a la superfície en un nou estadi durant el qual ja s'alimenten. Aquestes migracions duren de 3 a 5 mesos. Durant el segon estiu de vida, es desenvolupen els juvenils i poden formar eixams. A principis del segon hivern, el krill juvenil mesura uns 25 mm, ja té l'aspecte dels adults, però en mida reduïda.

El krill forma eixams molt característics on les concentracions poden arribar a ser de 30.000 individus/m³, i per tant és un aliment de fàcil accés per a les balenes, foques i pingüins. Els eixams estan formats, a vegades, per femelles, mascles o juvenils. En un eixam de krill, a prop de la badia de Prydz, a l'oceà Índic Austral, es va calcular que hi havia unes 57.000 tones de mascles sexualment immadurs. Ocasionalment, es formen "supereixams"; un d'aquests va ser investigat l'any 1981 a l'illa Elefant, a prop de la península Antàrtica, ocupava 450 km² i es va estimar que tenia més de dos milions de tones de krill. Aquest "supereixam" estava format per membres dels dos sexes, amb un cert grau de segregació per sexe i edat.

El krill antàrtic adult mesura uns 60 mm de longitud. Igual que els altres crustacis, el krill presenta esquelet extern (exoesquelet) i creix després de perdre l'esquelet antic amb la muda, i s'expandeix dins del nou esquelet abans que aquest s'endureixi. Aquest procés es repeteix repetidament durant la vida dels crustacis fins arribar a la maduresa (és a dir, com més gran és el crustaci, més gran és també en edat). En el cas del krill antàrtic és diferent: no es pot predir la seva edat a partir de la mida. La font principal d'aliment del krill, el fitoplàncton, és, com ja s'ha explicat, escàs durant més de la meitat de l'any. Estudis realitzats en laboratori, han demostrat que el krill

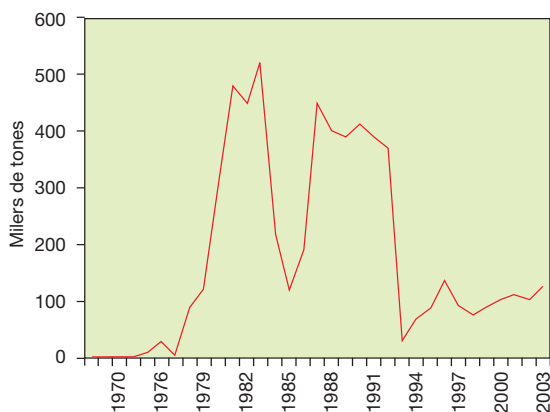


Figura 15. Variació de les pesqueries de krill en els darrers anys en milers de tones i en la qual es pot apreciar el clar descens de la darrera dècada (dibuix modificat d'Arntz, 1997).



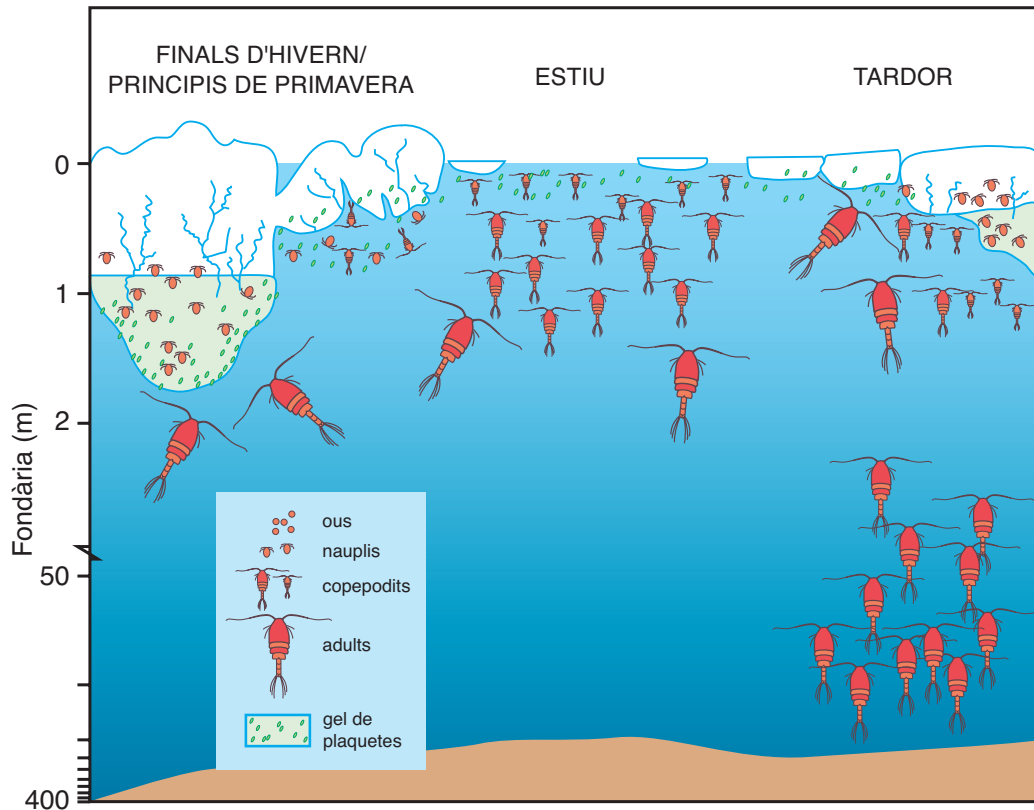


Figura 16. Variació en la distribució i abundància del copèpode antàrtic *Stephos longipes* al llarg de l'any i en la qual es poden apreciar les èpoques en les quals els juvenils estan associats a la part de sota el gel i els adults distribuïts per tota la columna d'aigua (dibuix modificat de Shiel 1995).

pot resistir més de 200 dies sense alimentar-se. En lloc d'utilitzar les reserves de matèria grassa, consumeix les proteïnes musculars. Continuen amb el procés de la muda, durant un mes, però en lloc de créixer, com passa quan l'aliment és abundant, disminueix de mida. Quan el krill arriba als 5 anys de vida, perd els seus caràcters sexuals i disminueix de mida en acabar l'estiu antàrtic, i els recupera a la primavera per fresar a l'estiu. Així, el krill de 5 anys no es pot diferenciar dels individus immadurs de dos anys.

A causa de la seva importància ecològica, els seus elevats nivells de biomassa i el seu paper com a recurs potencial, a l'oceà Austral, la majoria d'investigacions relacionades amb zooplàncton s'han enfocades en l'estudi del krill. De tota manera, altres grups del zooplàncton com eufausiacis, copèpodes, salpes, anfípodes, quetògnats i larves de peixos, poden jugar també un paper important en el sistema antàrtic. De tots aquests, els copèpodes i les salpes poden arribar a ser molt abundants. El zooplàncton (excloent el krill) comprèn un 75% del total de la biomassa zooplànctònica en el mar d'Escòcia, al nord de la península Antàrtica, i els copèpodes constitueixen entre el 60-87% del total de la biomassa de zooplàncton estival a la badia de l'Almirall a l'i-

lla del rei George. Estudis recents mostren que la contribució del krill a la biomassa de zooplàncton a l'oceà Austral ha estat sobreestimada. És evident que hi ha una gran variabilitat geogràfica en la seva distribució i abundància en el zooplàncton, tant estacionalment com anualment (Fig. 16).

Els copèpodes, com el krill, també són crustacis. Més de 70 espècies han estat descrites en aigües antàrtiques. Generalment són microscòpiques, tan sols algunes espècies són més grans d'un mil·límetre. Algunes espècies són filtradores, altres són carnívores i altres omnívores. En sabem poc sobre quina proporció de la biomassa protists és capturada i filtrada pel krill i quina quantitat pels copèpodes. Estimacions sobre l'abundància dels copèpodes i els seus requeriments energètics indiquen que les seves necessitats alimentàries són 8 vegades superiors a les de molts protists i també superiors a les del krill. A diferència del krill i amb poques excepcions, els copèpodes no són l'aliment principal dels depredadors superiors. Però són capturats i filtrats per peixos que a la vegada són menjats per foques, pingüins i altres aus voladores.

Les salpes són tunicats planctònics. S'alimenten bombejant i filtrant aigua, i són capaços de retenir un ampli ventall de partícu-



les. Són organismes delicats, gelatinosos, i alternen la seva manera de vida entre fases solitàries i colonials que es reproduïxen asexualment. La producció de colònies coincideix amb el creixement desmesurat de fitoplàncton a la primavera. Les salpes en fase solitària poden produir centenars de colònies; elevades concentracions d'aquests organismes poden desenvolupar-se ràpidament a la primavera i a l'estiu com a resposta a la disponibilitat d'aliment. La seva elevada abundància i capacitat de filtració fan de les salpes actius consumidors i poden arribar a eliminar entre el 10 i el 100% dels protists en aquestes àrees. Les salpes són capaces de reduir les concentracions d'aliment per a altres consumidors planctònics. A les àrees on hi ha moltes salpes, la concentració de krill és més baixa.

Els nivells de reproducció del krill i la supervivència de les seves larves estan també aparentment afectades per les proliferacions de salpes. Investigacions a l'oceà Austral i en el sector sud del oceà Índic han trobat un punt d'interacció entre l'existència de gel i el domini de salpes o krill. Els models de circulació oceànica i les condicions del gel afecten fortament la biologia i l'ecologia dels organismes. Aquest fet es fa molt palès a les zones on circula el corrent Circumpolar Antàrtic. En aquestes àrees, la població de krill és dominant i les salpes apareixen en un nombre reduït. A les zones en què el corrent Circumpolar Antàrtic està a prop de la costa antàrtica i el gel ocupa menys superfície, les salpes, al contrari del krill, són més abundants. A la regió de la península Antàrtica existeix l'evidència, en els darrers 50 anys, que cada vegada són menys els hiverns

amb una capa de gel extensa. La disminució de l'abundància de krill està relacionada amb la disminució de l'extensió del gel, relacionada a la vegada amb la disponibilitat d'aliment per als depredadors del krill.

Encara que les salpes no són el constituent més important en la dieta dels depredadors vertebrats, juguen un paper important a l'oceà Austral: els seus productes de detritus baixen ràpidament per la columna d'aigua cap al fons, contribuint al transport vertical de carboni des de la superfície cap al fons de l'oceà. Aquest flux vertical de carboni en altres oceans del món és una de les principals vies del cicle de carboni. El CO_2 atmosfèric és recollit pel fitoplàncton i transportat al fons de l'oceà, on a poc a poc és reciclat per tornar a la forma CO_2 , disponible per l'activitat dels organismes marins fotosintetitzadors.

Els peixos marins

Existeixen més de 22.000 espècies de peixos en el món, però sols se'n troben unes 120 en el sud del Front Polar (Fig. 17). Aquest front representa la major barrera oceànica per al desplaçament de les espècies de peixos, especialment aquelles que viuen en hàbitats costaners. Un altre factor important en el sistema antàrtic és la gran profunditat de la plataforma, comparada amb la plataforma al voltant d'altres continents. Aquest aïllament dels peixos antàrtics ha jugat un paper important en la seva evolució i en la composició de les seves comunitats. A diferència d'altres oceans del món, els peixos antàrtics són escassos a les zones superficials.

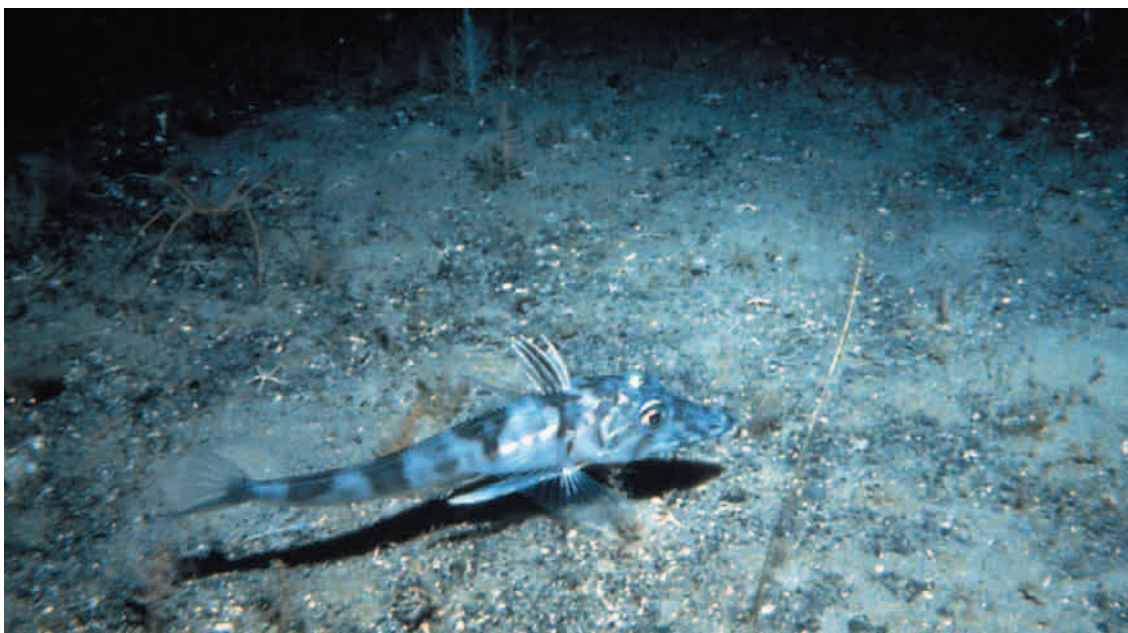


Figura 17. Un exemplar de peix de gel que acostuma a estar quiet en el fons recolzat per les aletes pectorals a uns 300 metres de fondària al mar de Weddell (Foto J. Gutt/AWI, Alemanya).



La diversitat i l'abundància d'espècies de peixos en els aigües profundes de la costa antàrtica és elevada. Es compten més d'un 60% d'espècies i un 90% d'abundància de la fauna de peixos antàrtics. Les poques espècies de peixos pelàgics que existeixen han desenvolupat la capacitat de viure parcialment o totalment lluny del fons. La zona de gel és l'hàbitat dels adults, però passen els primers anys de la seva vida en el fons oceànic. Els peixos plata (*Pleurogramma* sp.) són pelàgics i sovint, especialment els juvenils, s'associen amb el gel. S'alimenten de copèpodes, eufausiacis i peixos juvenils, servint aquests d'aliment als mamífers i a les aus marines. Les espècies de *Pleurogramma* arriben a mesurar 25 cm i són organismes abundants i importants en la cadena alimentària marina de l'Antàrtida. Els mictòfids (peixos llanterna), de 2 a 30 cm de llargària, són un altre grup de peixos pelàgics importants a les aigües antàrtiques. Són consumidors oportunistes i s'alimenten de copèpodes, eufausiacis, ous i peixos juvenils. Durant el dia, aquests peixos es poden trobar a profunditats d'uns 200 metres, però migren cap a la superfície durant la nit.

A diferència de la majoria d'invertebrats antàrtics, els fluids interns dels peixos antàrtics són menys salins que l'aigua del mar. Presenten substàncies anticongelants denominades glucoproteïnes, que baixen el punt de congelació de l'aigua en el fluid corporal. A més, han reduït el contingut d'hemoglobina i el nombre d'eritròcits (en alguns casos fins i tot totalment) per transportar oxigen, ja que poden assimilar directament del plasma sanguini (l'aigua més freda té més capacitat per contenir gasos dissolts). Presenten un cor més gran ja que també tenen més volum de sang per bombejar. La manca d'hemoglobina fa que el seu fetge presenti un color groguenc i que les brànquies siguin blanques.

La majoria dels peixos antàrtics mesuren menys de 30 cm, però hi ha algunes espècies que arriben a mesurar 1,5 metres i pesen més de 50 kg. Els peixos antàrtics generalment creixen a poc a poc, triguen entre 3 i 8 anys en arribar a la maduresa sexual, i tenen una vida llarga i una taxa metabòlica baixa. Aquesta característica col·loca els peixos antàrtics en una situació d'alt risc d'extinció.

Cefalòpodes antàrtics

Els calamars són uns dels components més importants de l'ecosistema de l'oceà Austral, encara que la seva biologia és encara molt poc coneguda. De resultes que sovint escapen de les xarxes de captura i mostreig, es coneix poc sobre la seva abundància, longevitat i manera de viure. La majoria de les espècies que es capturen no són les que serveixen d'aliment a les balenes. Unes 70 espècies de

calamars es troben al sud del Front Polar. Almenys la meitat són espècies endèmiques d'aquesta àrea. Aparentment, la majoria de les espècies produeixen masses d'ous a unes profunditats de 1.000 metres. Els calamars joves creixen ràpidament, arriben a la maduresa sexual a l'any de vida, fresen i moren. Algunes espècies poden arribar a viure diversos anys. Els calamars formen part de la dieta de les aus, particularment dels albatros, i també de les foques i balenes (excepte orques). És molt difícil donar dades relacionades amb la quantitat de calamars que són consumits pels depredadors, però diferents estimacions situen en uns 40 milions de tones l'any; aquest fet suggereix que la biomassa de calamars total a l'oceà Austral és d'uns 100 milions de tones. Els calamars mengen de manera voraç, algunes espècies ingereixen fins a un 30% del seu pes corporal per dia. Es pensa que són els consumidors principals de krill, encara que investigacions recents indiquen que els mictòfids i els peixos d'aigua profunda són les seves preses més abundants.

Encara que s'han pescat calamars al voltant de Nova Zelanda i les illes Falkland, malgrat els anys d'especulació sobre el potencial d'aquest mercat, no hi ha cap pesquera comercial de calamars en aigües antàrtiques. Les poblacions d'aquests animals varien dramàticament a causa dels seus reduïts cicles de vida i al fet que sols es reproduïxen un cop a l'any i després moren.

Comunitats bentòniques

Aquestes comunitats impressionaren als primers exploradors de l'Antàrtida per la seva abundància. Habiten en el fons de l'oceà i són freqüents en les àrees continentals i costaneres de l'Antàrtida. S'alimenten en la majoria dels casos de les partícules que cauen des de les aigües superficials (Fig. 18).

La gran quantitat de detritus que es deposen en els fons que circumden l'Antàrtida estan fonamentalment compostos per material orgànic transportat per l'activitat glacial. Els detritus inorgànics i orgànics que provenen d'altres continents, són transportats per l'acció dels rius i del vent. El gel exerceix una gran influència en les comunitats bentòniques antàrtiques en diferents aspectes. Entre ells, la baixa lluminositat i la temperatura de l'aigua en la plataforma continental, que és generalment baixa i estable.

Un dels ambients bentònics més estudiats a l'Antàrtida és el de la badia de McMurdo. La plataforma –regularment coberta de gel fins a una profunditat de 15 metres–, es troba plena d'algues. Alguns animals mòbils també hi són presents, com les estrelles, crustacis i peixos. En ambients costaners, les microalgues bentòniques contribueixen de manera esta-





Figura 18. Fons marí a 250 metres de fondària del mar de Weddell dominat per gorgònies i briozous (Foto J. Gutt/AWI, Alemanya).

cional a la producció primària. Unes 700 espècies d'algues són presents en aigües antàrtiques, de les quals un 35% són endèmiques. Les algues i les comunitats bentòniques d'animals varien en la seva composició amb la latitud i la profunditat. Les algues són escasses per sota dels 40 metres i absents per sota dels 100. Les zones més profundes que es troben afectades per la fricció del gel en el fons, són colonitzades per diferents organismes filtradors, inclosos entre altres les anèmones, corals, mol·luscs i ascidis. En aquesta zona hi són presents detritívors, així com eriçons, estrelles i peixos. Sota els 30 metres de profunditat, els animals dominants són les esponges, que cobreixen un 55% dels fons de la badia de McMurdo. Les esponges varien de mida i forma, i creixen molt a poc a poc. La més gran trobada fins ara presenta la forma de cràter d'un volcà i mesura prop de 2 metres de llargària i 1,5 m d'ample. La comunitat d'esponges dona refugi a moltes espècies mòbils i sèssils com anèmones, anèl·lids, briozous, mol·luscs i ascidis (Fig. 19).

Els esquelets de les esponges estan formats en alguns casos per fibres de sílice anomenades espícules, que donen suport a l'esponja i eviten els depredadors. Algunes esponges antàrtiques tenen en el seu interior algues amb les quals estableixen una simbiosi. Més recentment, s'ha descobert que les espícules de les esponges tenen la funció de fibres òptiques, i faciliten l'arribada de llum a les algues que s'adhereixen a les espícules a l'interior de l'esponja.

Les àrees del voltant de l'Antàrtida on els fons són arenosos i tous contenen animals excavadors. La densitat d'aquests animals és la més elevada que hi ha en tot el planeta. A més de les macroalgues i els animals bentònics, el fons de l'Antàrtida està cobert per algues microscòpiques, protozous i bacteris. Els protozous i bacteris habiten, a més de la columna d'aigua, els sediments bentònics. Les microalgues bentòniques generalment se subdivideixen en dos grups: aquelles que viuen sobre del sediment i les anomenades epibionts, que viuen sobre els éssers vius,



com algues o esponges. Aquestes algues poden ser extremadament abundants, especialment en alguns hàbitats, com capes d'espícules d'esponges, on la superfície s'incrementa molt a causa de la seva presència.

A més, les espícules eviten el brosteig d'alguns animals, i permeten el desenvolupament d'aquestes capes de microalgues. Es pensa que les microalgues bentòniques contribueixen significativament a la producció primària en les àrees costaneres i juguen un paper important en la provisió de nutrients als animals bentònics.

Les concentracions de bacteris bentònics són normalment més elevades que les presents a la columna d'aigua, però similars a les que es troben en els sediments d'altres parts del món. Les comunitats bacterianes habiten com a màxim als primers 5 cm del sediment. La relació dels processos bacterians en els

sediments antàrtics marins en la descomposició de la matèria orgànica i el reciclatge del CO₂ es creu similar a la de les profunditats dels altres oceans del món.

Les aus i els mamífers

Els pingüins són aus no voladores que viuen i s'alimenten en el mar, excepte en el període de reproducció. Set de les 17 espècies de pingüins que existeixen actualment, viuen a l'Antàrtida i a les illes subantàrtiques (Fig. 20). Aquestes aus tenen magnífics sistemes d'aïllament tèrmic. Els pingüins que viuen a l'Antàrtida són: l'emperador (*Aptenodytes forsteri*), el d'Adèlia (*Pygoscelis adeliae*), el macarrons (*Eudyptes chrysolophus*), el real (*Aptenodytes patagonicus*), l'antàrtic (*Pygoscelis papua*), el de cara blanca (*Pygoscelis antarctica*) i el saltamarges (*Eudyptes chryso-*

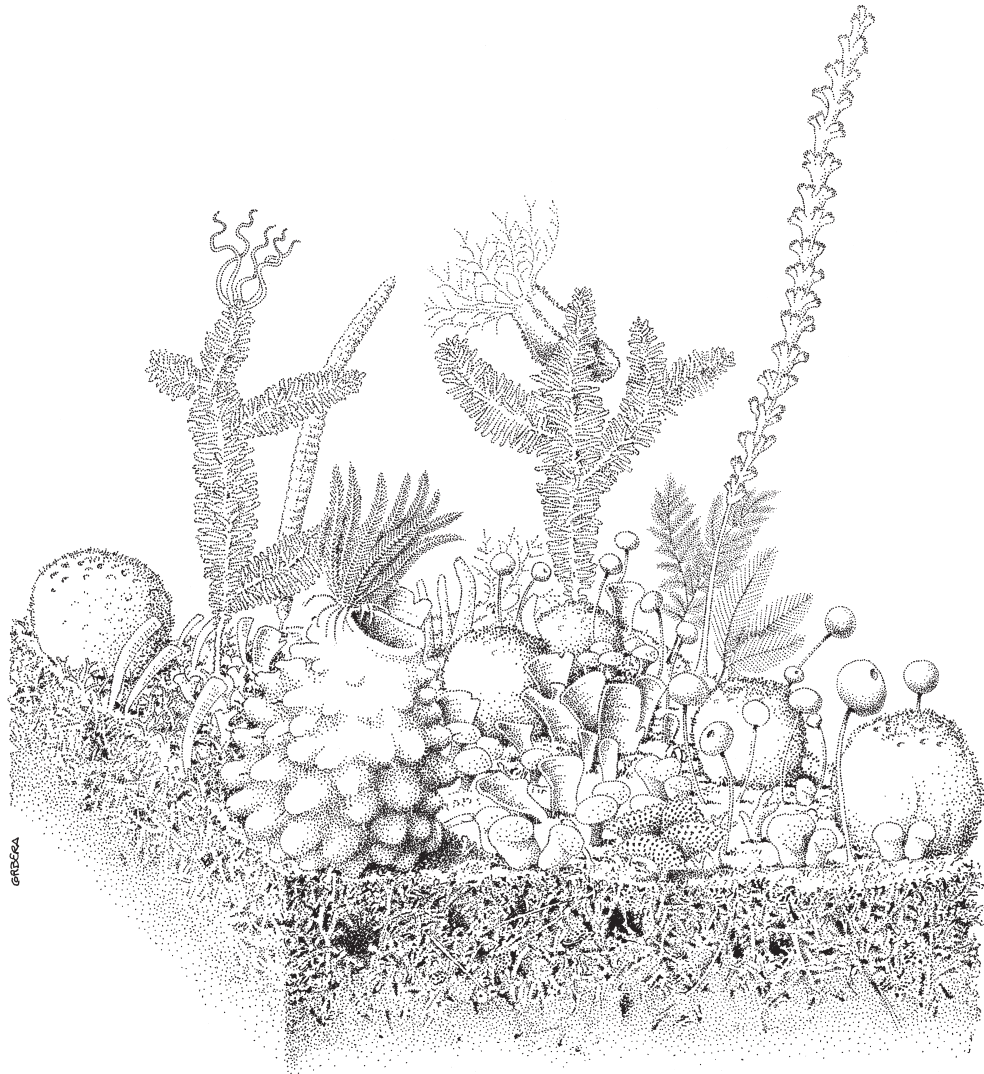


Figura 19. Esquema de com són les comunitats bentòniques marines de les plataformes antàrtiques entre 100 i 500 m de fondària (dibuix de J. Corbera a Orejas et al., 2000).





Figura 20. Dues escenes habituals a les pingüineries antàrtiques com són les del pingüí papua i les del pingüí emperador (Fotos J.M. Gasol/ICM-CSIC i J. Plötz/AWI, Alemanya).

come). El més gran és l'emperador que juntament amb el d'Adèlia (el més abundant) són els únics relativament antàrtics ja que sols viuen en el continent. Quan s'anuncia l'hivern austral, la majoria dels pingüins migren cap al nord per passar-lo a les costes, on les condicions climàtiques són més suaus o fins i tot a alta mar. El pingüí emperador migra cap al sud per reproduir-se i hivernar sobre les plataformes de gel, on poden formar colònies de fins a 300.000 individus. La femella posa un únic i enorme ou, el qual serà incubat durant 2

mesos pel mascle (en posició ortograda, suportant temperatures de -18°C fins a -62°C i en dejú). La femella torna després d'aquest temps amb el pap ple de menjar per a la cria (calamars i peixos), després de fer a peu centenars de quilòmetres, i és capaç d'identificar la seva colònia i la seva parella.

Sense comptar els pingüins hi ha altres espècies d'aus que habiten l'Antàrtida. Poden volar i les més comunes són els paràsits, els albatros, els cormorans i els petrells. L'albatros sobresurt per la seva gran mida ja que pot



tenir fins a 2 metres d'envergadura i volar centenars de kilòmetres sense parar. Sensors d'altitud units al seu cos han revelat que passen el 75% del temps volant. A l'Antàrtida hi ha 6 espècies de foques, la de Weddell (*Leptonychotes weddelli*), la de Ross (*Ommatophoca rossi*), la lleopard (*Hydrurga leptonyx*), la menjacrancs (*Lobodon carcinophagus*), l'elefant marí (*Mirounga leonina*) i el lleó marí austral (*Arctocephalus gazella*). Aquestes dues últimes foques també tenen una distribució subantàrtica. Les foques antàrtiques viuen a les plataformes de gel, s'alimenten i es reproduïxen a l'aigua i crien sobre el gel. El lleó marí austral és l'única foca amb orelles visibles encara que totes poden oir sobre i sota l'aigua. La foca de Weddell és la que pot viure més al sud i a més pot capbussar-se fins a 600 m de profunditat. Les foques mengen principalment krill, peixos, calamars i crustacis encara que la foca lleopard s'alimenta també d'altres foques i pingüins. Els mascles de l'elefant marí són els més grans i presenten una protuberància inflable sobre la boca que actua com una càmera de resonància per allunyar del seu territori a altres mascles.

Durant els mesos d'estiu austral, les aigües antàrtiques hostatgen les balenes que migren cap al pol sud a la recerca d'aliment. Hi ha 6 espècies de balenes dentades i 6 sense dents (tenen barbes). La resta de l'any migren cap a aigües més càlides, on es reproduïxen. Conjuntament amb les foques, s'està intentant recuperar les seves poblacions per salvar-les del perill d'extinció a causa de la sobrepesca a les quals han estat sotmeses per les seves pells, olis i carns. La balena més gran del món, la balena blava (*Balaenoptera musculus*) (24 m i 84 tones) no té dents i s'alimenta bàsicament de krill que filtra amb les seves barbes. De les balenes dentades, la més gran és el catxalot (*Physeter macrocephalus*) (14 m i 30 tones) que s'ha especialitzat en la captura de calamars encara que en els seus estòmacs s'han trobat peixos i crustacis.

Bibliografia recomanada

- ANONIM (1988) *Antarctica. Great Stories from the frozen continent*. Reader's Digest. Services Pty Ltd, Surry Hills.
- ARNTZ, W.E., T. BREY i V.A. GALLARDO (1994) Antarctic zoobenthos. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 32: 241-304.
- ARNTZ, W.E. 1997. Investigación antártica en biología marina: situación actual, proyectos internacionales y perspectivas. *Boletín de la real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Biología)*, 93: 13-44.
- ARONSON, R.B. i D.B. BLAKE (2001) Global climate change and the origin of modern benthic communities in Antarctica. *American Zoologist*, 41: 27-39.
- BARGAGLI, R. (2005) *Antarctic ecosystems. Environmental contamination, climate change and human impact*. Ecological Studies 175, Springer, Milan.
- BERKMAN, P.A. (2002) *Science into Policy. Global Lessons from Antarctica*. Academic Press, San Diego.
- BONNER, W.N. i W.H. WALTON (eds.) (1985) *Antarctica. Key Environments*. Pergamon Press, Oxford.
- CONLAN, K.E., H.S. LENIHAN, R.G. KVITEK i J.S. OLIVER (1998). Ice scour disturbance to benthic communities in the Canadian High Arctic. *Marine Ecology Progress Series*, 166: 1-16.
- CRAME, J.A. (ed.) (1990) *Origins and Evolution of the Antarctic Biota*. The Geological Society, London.
- EL-SAYED, S.Z. (1994) *Southern Ocean ecology: the biomass perspective*. Cambridge University Press, Cambridge.
- HAMBREY, M. (1994) *Glacial environments*. University College London Press, Ltd., London
- HEMPEL, G. (ed.) (1994) *Antarctic Science. Global Concerns*. Springer-Verlag, Berlin.
- MANZONI, M. (2001) *La natura dell'Antartide*. Springer, Milano.
- MCGONIGAL, D. i L. WOODWORTH, (2001) *The complete encyclopedia Antarctica and the Arctic*. Firefly Books, Ontario.
- OREJAS, C., J.M. GILI, W.E. ARNTZ, J.D. ROS, P. LÓPEZ-GONZÁLEZ, N. TEIXIDÓ i P. PINTO (2000). Benthic suspension feeders, key players in Antarctic marine ecosystems. *Contributions to Science*, 1: 299-311.
- SCHIEL, S.B. (1995). Lebensstrategien antarktischer Copepoden. In: I. HEMPEL i G. HEMPEL (eds.), *Biologie der Polarmeere*, pp 175-179. Gustav Fischer, Jena.
- SHIRIHAI, H. (2002) *The Complete Guide to Antarctic Wildlife*. Princeton University Press, Princeton.
- SMITH, Jr. W.O. (ed.) (1990) *Polar Oceanography. Part B Chemistry, Biology, and Geology*. Academic Press, San Diego.
- STONEHOUSE, B. (1989) *Polar Ecology*. Blackie, Glasgow
- STONEHOUSE, B. (2002) *Encyclopedia of Antarctica and the Southern Oceans*. John Wiley & Sons, Ltd, West Sussex.
- SUGDEN, D. (1982) *Arctic and Antarctic, a modern geographical synthesis*. Barnes and Noble Books, New Jersey.
- THOMAS, D.N. (2004) *Frozen Oceans. The floating world of pack ice*. Natural History Museum, London.
- WALTON, D.W.H. (ed.) (1987) *Antarctic Science*. Cambridge University Press, New York.

