

# LA BANQUISA: “PACK ICE”



©Begoña Vendrell

Escrit per:

**David N. Thomas**

Escola de Ciències Oceàniques  
Universitat de Gales-Bangor  
Regne Unit

*«Ara ens trobem al bell mig del que els profetes solien dir per sembrar el terror entre nosaltres. El gel està pressionant i empaquetant tot el que ens envolta i ressona com els trons. Es va acumulant, formant murs i piles de gel prou altes per arribar a l'alçada dels ormeigs del Fram. Està fent tot el possible per convertir el Fram en pols»*

Aquesta descripció aterradorament sobre l'increïble poder del gel va ser escrita pel Noruec Fridtjof Nansen el divendres 13 d'octubre de 1893, a mesura que s'endinsava als icebergs de l'Àrtic amb el seu robust vaixell, anomenat The Fram. Nansen i dotze aventurers més es trobaven a l'inici d'un viatge èpic per creuar l'Oceà Àrtic que duraria tres anys. Aquesta aventura els exposaria a

condicions que posarien a prova, al límit, les seves habilitats per sobreviure i navegar. Es pot dir que Nansen era el millor explorador del pols. Sabia que no hi havia res que ni ell ni la seva tripulació poguessin fer per combatre les extremes forces físiques que dominaven els camps mòbils d'icebergs. Era plenament

conscient que la seva supervivència depenia de la resistència de la seva nau i alhora del fet que no els faltessin provisions durant els mesos d'hivern llargs i glaçats que els esperaven.

És cert que els avenços de la indústria naval han permès construir vaixells immensament forts, recoberts d'armadures metàl·liques per poder trencar el gel i amb equips d'última tecnologia per navegar via satèl·lit. De totes maneres, encara avui un bloc de gel només d'uns centímetres de gruix pot suposar el mateix grau de dificultat pels exploradors actuals que pels primers aventurers polars, que utilitzaven barques de fusta. Les regions del planeta amb icebergs flotants són hostils, i només són habitables pels homes si ho fan ben

bé als límits de la seva extensió. A més, les temperatures són extremadament baixes, durant llargs períodes de l'any es viu en la foscor i el vent bufa sense pietat.

La meua primera impressió dels icebergs de l'Antàrtida va ser d'una extrema bellesa. La tranquil·litat que vaig sentir contrastava amb la bravesa de l'oceà per on havíem navegat durant quinze dies per anar des de Ciutat del Cap, a Sud-Àfrica, cap a l'Oceà Austral. Ara bé, tot va ser veure que els icebergs feien metres de grossor, afloraven de sobte cap a la superfície marina, lliscaven des del capdamunt de cadascun d'ells i formaven crestes en massa que mesuraven fins a dues vegades la meua alçada, que l'experiència em va començar a inspirar una precaució sana. Els icebergs no són silenciosos, i quan un vaixell negocia lentament el pas entre mig se sent el cruixir constant del gel, gairebé com un grunyir amenaçador que emfatitza la naturalesa aliena d'una terra erma i glaçada.

Els icebergs són una capa congelada d'aigua del mar que es manté flotant als

oceans polars, tot i que també es forma a mars com el Bàltic, el Caspi i Okhotsk. El gruix pot variar des d'uns centímetres fins a desenes de metres i pot arribar a cobrir fins el 13% de la superfície de la terra. Això fa que els icebergs siguin un dels biomes més grans del planeta similar, quant a l'àrea que ocupen, als deserts o a la tundra. Des del moment que els navegants i baleners van començar a navegar per les terres dels pols a finals del segle XX, les propietats físiques i mecàniques del mar glaçat han estat un gran centre d'interès on s'hi duu a terme una intensa tasca investigadora.

El mar glaçat de l'Antàrtida no només regeix les regions polars sinó que també és molt important per la circulació global dels oceans, i alhora, per la climatologia del planeta. A petita escala, la formació, consolidació i la subsegüent fusió de milions de quilòmetres de gel té un impacte fonamental sobre cadascun dels ecosistemes que hi viuen. La regió glaçada de l'Oceà Austral cobreix grans extensions de terra durant la major part de l'any, i suposa una important plataforma per a la vida salvatge associada als climes polars. Els ossos polars i les guineus recorren milers de quilòmetres del mar àrtic, glaçat durant l'hivern, en busca de les preses. Altres, com els pingüins i les foques utilitzen l'entorn glaçat del continent per refugiar-se dels depredadors, per la migració i també per donar a llum i criar les noves generacions.

tant la biologia com la química del mar glaçat s'han convertit en el principal centre d'interès per les investigacions sistemàtiques. Aquest últims anys s'ha intensificat l'estudi de les condicions extremes pròpies d'aquest hàbitat, estimulat pel descobriment del potencial biotecnològic dels microorganismes de climes freds. Els astrobiòlegs han arribat a explorar el seu potencial com a procreadors de la vida en una terra primerenca o bé en sistemes

dominen les diatomees pennades, però hi trobem també protozoous, bacteris, fongs i cucs (copèpodes, amfípodes, turbelaris, nematodes). Entre aquests organismes, n'hi ha que formen part del plàncton (zooplàncton i fitoplàncton) de mar obert, que és en realitat on s'originen Però, contràriament als individus de la mateixa espècie que habiten aigües més càlides, el plàncton dels pols té una única fase en el cicle estacional perquè queden capturats a les matrius semisòlides de gel.



©Armin Rose

Fins i tot a l'interior del gel hi viuen una gran varietat de microorganismes. El mar glaçat és una característica fonamental de la dinàmica estacional pel plàncton que trobem en aquest tipus d'hàbitat. Malgrat que la presència d'aquests microorganismes dins del gel de l'Antàrtida fou descoberta fa més de 150 anys, tan sols en els últims 25 anys

extraterrestres com Mart i les llunes de Júpiter, Europa i Gannymede.

Sota la capa blanca de neu verge, el color del gel és sovint d'un marró tirant a cafè, que ve de la biota que hi creix- una multitud d'organismes minúsculs (majoritàriament microscòpics) entre els quals

La primera descripció dels organismes vius del mar glaçat va ser feta pel botànic J. D. Hooker el 1847. Hooker era fidel a les descripcions del protozoòleg C.C. Ehrenberg, que el 1841 ja havia observat les zones de l'iceberg on hi havia densos creixements d'algues. Sutherland, el 1852, les va descriure així “ una substància



©Armin Rose

orgànics excretats per tots els organismes vius de l'oceà. Els bacteris constitueixen la font d'aliment més important pel protozoos. Finalment i a mínima escala trobem els virus. La seva abundància fa que algunes infeccions eliminin poblacions locals de fitoplàncton i zooplàncton en una sola nit.

La transició de la vida virtualment lliure que ofereix el mar obert, a la vida captiva del mar



part important de les aigües que envolten el continent antàrtic. És en aquesta època de l'any quan les aigües superficials de l'oceà s'uneixen, donant pas a l'intercanvi de part dels seus organismes vius. La base de l'ecosistema és: el fitoplàncton, les plantes de mar obert, un miler de formes i espècies diferents, majoritàriament algues fotosintètiques monocel·lulars, és a dir que creixen tot transformant la llum del sol, diòxid de carboni i nutrients com els nitrats i fosfats, en nou material vegetal. El fitoplàncton és pastat per animals més grans com els copèpodes i a l'Antàrtida concretament pel krill, l'animal central en l'ecosistema marí de l'oceà Austral. El krill arriba a quantitats de fins a 1.3 bilions de tones (hi ha 0.3 bilions de tones d'humans a la terra), a vegades n'hi ha tant que la superfície de l'oceà es veu vermellosa. Aquest animal s'assembla a la gamba i és la dieta bàsica dels peixos, albatros, pingüins, foques i balenes que passen l'estiu en aquestes aigües fredes, alimentant-se de grans quantitats de krill.

En realitat la cadena tròfica no és tan senzilla, ans tot el contrari, els organismes que habiten l'oceà austral formen part d'una intrincada xarxa alimentària. En els darrers anys els biòlegs marins han demostrat la seva complexitat: a escala microscòpica, el fitoplàncton és menjat pels protozoos, un grup divers d'animals voraçs, que són alhora víctimes d'organismes més grans del zooplàncton. En una escala encara més petita, hi trobem una gran quantitat de bacteris i de fongs, que creixen en els organismes ja morts i en estat de descomposició, o bé en components

glaçat comença a la tardor, quan els freds vents catabàtics escombren el continent antàrtic. La superfície del mar es refreda ràpidament, i quan la temperatura arriba a  $-1.8^{\circ}\text{C}$  es comencen a formar els cristalls de gel (la temperatura a l'estiu és d'entre  $0-4^{\circ}\text{C}$ ). Amb les hores els cristalls mil·limètrics es comencen a agregar, i es formen capes de gel superficial. A mesura que els cristalls creixen dins l'aigua van capturant altres partícules, entre les quals hi trobem els organismes del plàncton; alguns d'ells queden enganxats als cristalls mentre que d'altres només queden atrapats a la capa de gel viscosa i d'aparença gairebé líquida. Altres animals com per exemple els copèpodes, el krill i els peixos poden nedar, tot evitant quedar atrapats al gel.

Després d'unes quantes hores d'un fred intens els cristalls de gel es comencen a agregar i formen discs de 5 a 10 centímetres de diàmetre coneguts com ballmanetes de gel. Creixen fins arribar als 20 o 50 cm de gruix i un quants metres de superfície, aleshores s'anomenen superballmanetes. El vent i les onades fan que alguns d'aquestes ballmanetes s'acumulin les unes sobre les altres, es congelin i amb un o dos dies es forma una capa de gel compacta, prou consistent com per suportar el pes dels nostres trineus, generadors i tot l'equipament necessari per portar a terme la nostra tasca investigadora. Abans però cal que prenguem mostres del gel des de

verdosa i d'aparença prima" a la superfície inferior de l'iceberg que mirada al microscopi permet observar "formes vegetals diminutes de bellesa exquisida".

Entre finals de primavera i principis d'estiu es desglança una



El color marró del gel marí és degut a l'acumulació d'algues microscòpiques. Foto: J. M. Gili

les nostres barques de goma, utilitzant aparells especials controlats des del vaixell per recaptar el gel viscos, en formació. La major part dels icebergs de l'Antàrtida arriben als dos metres per sota del nivell del mar, tot i que si hi ha hagut molta agitació arriben als 5 o 10 metres per sota el nivell del mar. Aquests icebergs gegants són gairebé indestructibles i només poden ser trencats portant el vaixell a tota màquina, tot i que a la capa més gruixuda el vaixell no té cap oportunitat, l'oficial ha d'obrir-se pas entre les planxes de glaç buscant punts febles i extensions de mar obert.

Els organismes capturats al gel han d'afrontar canvis considerables al seu entorn fisicoquímic immediat: els cristalls de gel són aigua pura, i les sals de l'aigua del mar es concentren formant una mena de salmorra. Si comparem el gel del mar glaçat amb el que es forma a partir d'aigua dolça, el mar glaçat no és sòlid. La seva estructura consisteix en una xarxa de canals i porus plens de salmorra. En aquest laberint salat que sembla un formatge suís o una esponja plena d'aigua és on hi creixen els microscòpics habitants del mar glaçat.

La capacitat per tolerar espais reduïts, baixes temperatures i concentracions altes de sal són part dels requisits

indispensables per sobreviure en aquest hàbitat. A mesura que el gel es refreda i a partir d'una salmorra que cada cop està més concentrada, es van formant més cristalls de gel. Alhora l'espai comença a ser limitant: en el mar glaçat de  $-2^{\circ}\text{C}$  els canals són grans (de mil límetres fins a centímetres de diàmetre), i la salmorra és només lleugerament més concentrada que l'aigua del mar, ja que conté aproximadament 34 grams de sal per litre. En canvi quan la temperatura és de  $-8^{\circ}\text{C}$  els canals redueixen considerablement el seva mida (micròmetres de diàmetre), també la seva quantitat, i les concentracions arriben als 145 grams de sal per litre de salmorra. A  $-25^{\circ}\text{C}$  ja no hi ha ni canals ni porus visibles i les salmorres són tan concentrades que alguns minerals precipiten en forma de sals cristal·litzades. Cap a finals de tardor i principis d'hivern ja hi ha un gradient de temperatura entre la superfície freda dels icebergs (menys de  $-30^{\circ}$ ) i el gel dels extrems en contacte amb l'aigua del mar ( $-1.8^{\circ}\text{C}$ ).

Una de les raons més importants per anar d'expedició a l'Antàrtida i estudiar la biologia del mar glaçat és la de determinar la seva importància de cara a tot l'ecosistema antàrtic. A l'estiu el continent antàrtic està rodejat per quatre milions de quilòmetres quadrats de mar

glaçat que a mitjans d'hivern ja arriben als 20 milions (Nord-Amèrica té una àrea de 24 milions de quilòmetres quadrats). Una producció anual d'aquestes dimensions i la subsegüent fusió del gel, suposa unes implicacions considerables per tota la regió austral. Últimament ha augmentat la nostra preocupació per la biologia de l'oceà antàrtic atès que no sabem les conseqüències que tindran l'escalfament de l'aigua del mar i el descens de les temperatures als pols. Estem estudiant també la influència de les radiacions ultraviolades, molt perjudicials a la primavera a causa de la reducció dels nivells d'ozó en la regió antàrtica.

L'acampada tampoc no és fàcil. Està limitada per tots els problemes que suposa establir-se sobre el gel dels icebergs durant llargs períodes de temps. Una altra dificultat és la d'haver de treballar a baixes temperatures, ja sigui per nosaltres mateixos o pel sofisticat equip analític que portem, dissenyat per treballar eficientment a  $0^{\circ}\text{C}$  amb la possibilitat de treballar fins a  $-30^{\circ}\text{C}$ . Per aquest motiu, una part vital de la nostra feina consisteix en poder treballar simulant les condicions antàrtiques en tancs o cambres de creixement a baixes temperatures en les que cal que controlem molt bé la temperatura, la llum i la composició química de l'aigua de mar. Mitjançant la combinació d'experiments de laboratori amb dades de camp s'intenta desvetllar quins organismes viuen al gel, i quines adaptacions necessiten per a fer-ho.

Per tal que la tasca investigadora es realitzi eficientment necessitem un equip científic multidisciplinari: físics i glaciòlegs que estudiïn l'estructura física del gel i el procés de formació, químics que determinin la naturalesa i composició de l'aigua del mar i de la salmorra, oceògrafs per mirar l'efecte del gel sobre els moviments oceànics i en la circulació. Entre l'equip de biòlegs hi trobem: microbiòlegs, botànics i zoòlegs. Cadascun d'ells aporta els coneixements sobre la seva àrea i en conjunt s'arriba a una conclusió de com és la vida en els icebergs de l'Antàrtida.

Per sota les temperatures de congelació tant els animals com les plantes han

de combatre el fred plegats. Ho fan mitjançant la producció de substàncies orgàniques a dins de les cèl·lules que actuen com els anticongelants que s'utilitzen pels cotxes a l'hivern. També es creu que la composició dels greixos de les membranes cel·lulars d'aquests organismes és diferent a la dels seus compatriotes de la resta d'ecosistemes marins del planeta. D'aquesta manera conserven la membrana en estat fluid a temperatures per sota dels zero graus centígrads, la qual cosa és necessària per qualsevol cèl·lula en funcionament. Alguns experiments amb diatomees mostren que una de les estratègies consisteix en reduir el metabolisme al mínim, entrant en una mena d'estat latent similar al procés d'hivernació. Algunes espècies de diatomees unicel·lulars, dinoflagel·lades i ciliades, encara van més enllà. Formen quists de resistència en el moment que les temperatures són molt baixes. Aquestes estructures són increïblement resistents i poden sobreviure condicions extremes durant anys abans les condicions no siguin prou favorables per germinar

Les altes concentracions de sal a la salmorra que rodeja el gel fa que l'aigua de les cèl·lules surti per osmosi: normalment la concentració total de minerals i components cel·lulars estan en equilibri amb els de l'aigua del mar. Quan es dona un increment en la concentració de minerals de la salmorra, l'aigua surt de les cèl·lules fins que s'equilibren les concentracions. Les cèl·lules prevenen aquesta deshidratació, que seria letal, agafant minerals com el potassi, o sintetitzant components orgànics, com l'aminoàcid prolina i dimetilsulfoniopropionat (DMSP) que tenen un paper doble, actuen com a anticongelants i contraresten les altes concentracions de sal.

Fins que el mar glaçat no captura la biota (plàncton), durant els primers mesos de transició de la tardor a l'hivern, la xarxa alimentària del plàncton al gel s'assembla molt a la que trobem a mar obert. Però això canvia gradualment i espècies individuals o en grup queden restringides a diferents zones del gel, com a reflex les



seves variables habilitats per tolerar el rigor del gel.

El tamany és el primer factor per decidir en quina zona viuran els organismes més grans del zooplàncton. A mesura que els canals s'estrenyen, els organismes més grans són incapaços de moure's cap a altres regions de l'iceberg i queden aixafats per les parets creixents de gel. Això significa que els animals més grans tendeixen a estar restringits a les parts més baixes i càlides del gel, en contacte amb l'aigua del mar. És força senzill d'imaginar com els organismes més delicats, o bé aquells que tenen estructures ornamentals o parts del cos més vulnerables, queden ferits al suportar la força física derivada de la consolidació del gel. A les zones més altes de l'iceberg, les condicions són, en general, massa estrictes per la vida, però tan sols per sota els primers 50 cm ja hi ha espai suficient, especialment per diatomees microscòpiques, bacteris i protozous.

Tot i que a primera vista estar capturat en un hàbitat tan hostil com el gel plantegi uns quants inconvenients, s'ha descobert que també hi van associats una sèrie d'avantatges pels organismes planctònics. Un bon exemple és el de les algues suspeses a la superfície del gel de l'oceà antàrtic. Aquests organismes estan exposats a molta més radiació solar que en l'oceà normal on els 100 primers metres de profunditat estan constantment remoguts per l'acció de les onades i el vent. Això implica que les algues de l'Antàrtida poden fotosintetitzar més, créixer i dividir-se més ràpid del normal. Això fins que l'hivern s'estableix i deixa d'haver-hi llum de dia, posant fi a la fotosíntesi i, com a conseqüència, al seu creixement.

Des del punt de vista dels depredadors aquesta distribució espacial redueix considerablement la distància entre les preses i els depredadors i per tant també el temps i, encara més important, l'energia emprada per caçar la presa. Molts organismes petits del zooplàncton no neden activament en busca de menjar, sinó que confien en l'oportunitat de trobar-lo. Algunes vegades ho

aconsegueixen per estructures com les espines o xarxes mucoses per capturar les seves preses. Com més limitat és l'espai, més freqüents són aquestes trobades casuals.

La biota del gel és crucial a l'hivern per un dels depredadors en particular, el krill, freqüentment vist enganxat a la part inferior de l'iceberg voltejada pel trencaglaç. La poca llum, les baixes temperatures i la captura d'organismes durant l'etapa de formació del gel, es dóna als primers 100 metres de l'oceà, tot quedant aparentment tan lliure d'organismes planctònics que l'oceà antàrtic es considera un dels més nítids del planeta. Per evitar quedar-se sense menjar algunes poblacions de krill migren a aigües més càlides, però ara sabem que el que fan molts és modificar la captura d'algues passant d'una modalitat pelàgica d'alimentar-se, pròpia de mar obert, a devorar voraçment les algues de sota l'iceberg. Els submarinistes van ser els primers que van observar el krill alimentant-se dels organismes que es dipositen a les vores de l'iceberg. Darrerament s'ha pogut confirmar a través de càmeres de control remot submergibles que s'envien sota el gel per tal d'explorar aquestes regions difícilment accessibles per l'home. A més a més s'han fet anàlisis del contingut visceral del krill trobat al voltant dels icebergs i s'ha demostrat que s'alimenten de diatomees del gel ja que n'estaven plens.

Aquest fet introdueix un aspecte molt interessant: les algues que viuen al gel per sota l'iceberg estan molt exposades i són fàcilment devorades. Però els avantatges són que estan en contacte amb l'aigua del mar, no pateixen estrès hídric ni tampoc salí, i el que és més important, tenen subministrament constant d'aliments i substàncies necessàries pel seu creixement. Per altra banda, les algues que viuen a l'interior de l'iceberg, tot i estar protegides dels grans depredadors, tenen el subministrament d'aliment i aigua fresca restringit, la qual cosa limita el seu creixement. De totes maneres existeix un reciclatge de nutrients en el sistema (els bacteris també proliferen al gel) i juntament amb els fongs fan funció

descomponedora dels organismes morts i de components orgànics dissolts, tot alliberant nutrients nitrogenats o fosfatats que queden novament a la disposició de les algues. Les substàncies orgàniques dissoltes, productes residuals com l'amoni, o els gasos que s'alliberen de la fotosíntesi (oxigen) o la respiració (diòxid de carboni) es dilueixen sense problemes a mar obert. Aquesta dilució no es pot donar al gel, i per això els trobem en unes concentracions molt elevades, de 10 a 100 vegades major que en condicions "normals". Tots aquests factors afecten la fisiologia i el comportament dels organismes del gel, algunes vegades els suposa gastar energia extra per combatre l'estrès. Els organismes que viuen a les vores del gel o en el plàncton tenen l'avantatge de no patir tot això.

És fàcil de veure que el creixement dels organismes, i les interaccions alimentàries són diverses i depenen d'una gran quantitat de variables. Aquest és un dels problemes més importants que ens trobem en el nostre camp de treball: la diversitat entre els diferents icebergs, fins i tot en un mateix iceberg ens trobem en una distribució poc uniforme de la biologia. Un dels nuclis de gel pot ser marró i molt poblat, mentre que un altre extret a menys de mig metre més enllà pot estar completament buit. És molt difícil d'arribar a unes conclusions generals, malgrat que faci mesos que estàs investigant a la mateixa regió.

A finals de primavera i a principis d'estiu floreix la vida de l'iceberg. El dia s'allarga ràpidament i cap allà a mitjans d'estiu el dia ja té 24 hores de llum. El gel s'escalfa i els icebergs es fan porosos i corcats, semblen una bresca, i deixen que l'aigua del mar entri a l'interior del gel, plena de nutrients frescos. La combinació de nutrients abundants, una disminució de les concentracions de sal de la salmorra, llum contínua, i temperatures més càlides, significa un creixement òptim per les algues. Es mesura la clorofil·la per estimar la quantitat d'algues que viuen al gel. Al gel corcat de l'estiu al mar de Bellingshausen vam trobar concentracions de clorofil·la de 300 a 400 micrograms per litre (els valors




normals a l'estiu en l'oceà antàrtic estan al voltant d'1 microgram de clorofil (a per litre) Aquestes poblacions tan denses de diatomees mantenen vastes quantitats de petits copèpodes i foraminífers (milers per litre). A mida que el vaixell trenca els icebergs esquerdats, s'observen aquestes marronoses sopes biològiques que brollen del gel a l'aigua del mar que els envolta.

El cicle anual es completa cap a mitjans d'estiu quan el gel es fon i retorna els organismes a l'aigua, iniciant un brot d'immensa activitat biològica: les algues alliberades sembren una població que floreix a les aigües circumdants, assegurant l'aliment pel krill i altres organismes del zooplàncton. És en aquest moment quan ja falta poc perquè els ocells, les foques i les balenes, tot assegurant-se

una alimentació rica i abundant, es retirin a l'horitzó glaçat. Tota la biota que s'ha alliberat a les aigües torna a la vida pelàgica, i les aigües de l'antàrtic reviften durant el curt estiu Antàrtic.

Si bé he iniciat l'article amb una cita de Nansen, em sembla adequat acabar amb la d'un explorador que va passar molts dies observant la biologia del gel a través



**David Thomas** és Cap de la secció de bioquímica de l'Escola de Ciències Oceàniques, Universitat de Gales-Bangor, Regne Unit. La seva passió és la conèixer la vida al gel. Ha escrit un llibre, *Sea Ice*, conjuntament amb el Dr. Gerhardt Dieckmann, de l'AWI, i va venir a Barcelona a fer una xerrada divulgativa i a contestar preguntes d'un grup d'alumnes de batxillerat de l'escola Frederic Mistral que fan un treball de recerca sobre la vida al gel.

del microscopi mentre s'endinsava a la zona dels icebergs a bord del Fram “...i aquestes són peces unicef·lulars del fang que, en grups de milions d'organismes, viuen a les piscines de l'iceberg molt properes les unes a les altres i que estan per tot aquest interminable mar de gel al qual nosaltres ens agrada anomenar un indret de mort! La Mare Terra posseeix una estranya habilitat per produir vida en qualsevol lloc. Fins i tot aquest gel és terra fèrtil per ella”.