

Evolució en el gel

Tot explorant els secrets de l'adaptació microbiana

Sobreviure a l'Àrtida no és mai fàcil, però qualsevol mínim treball de recerca ens revelarà que en l'entorn permanentment glacial i sovint fosc de l'oceà Àrtic –tant sota l'aigua com al seu voltant– hi proliferen tota mena de formes de vida, des dels humans fins als microbis. Malgrat que algunes adaptacions per a la supervivència són ben visibles, com

ara la capa de greix dels cetacis, els recobriments de pelatge o els iglús, n'hi ha d'altres que encara s'estan descobrint, com els microbis que produeixen una substància química que canvia l'estructura del gel marí perquè esdevingui un lloc més idoni per viure-hi. Recentment he viatjat al món glaçat de l'Àrtida tot buscant aquests i d'altres secrets.

La majoria de la gent sap que la Terra és un planeta d'aigua, ja que la seva superfície està en gran part coberta d'aigua de mar, però poca gent és conscient que aproximadament un 10% de l'oceà global està cobert d'aigua en estat sòlid: el gel marí. Aquesta capa de diversos metres de gruix d'aigua de mar glaçada cobreix les regions polars a l'hivern i ocupa un paper important en els processos físics, químics i biològics que tenen lloc tant en aquestes regions com més enllà. Davant de la conscienciació creixent del canvi climàtic global, el nombre de científics i ciutadans que donen importància al gel marí ha augmentat enormement al llarg de l'última dècada. Concretament, el gel marí de l'Àrtida s'ha convertit en un focus d'atenció en tant que indicador primerenc de l'escalfament global. La ràpida disminució de la superfície màxima de gel marí a l'estiu que ha tingut lloc durant els darrers anys fa pensar que l'any 2030 el gel marí de l'Àrtida podria ser inexistent durant els mesos d'estiu, junt amb qualsevol forma de vida que en depengui per sobreviure.

A l'Àrtida hi ha molta més vida del que ens podríem imaginar si ens fixem només en les imatges de paisatges crus, glaçats i desolats. Per poder ser testimonis de les veritables profunditats de la vida a l'Àrtida ens hem de submergir a l'aigua. A dalt de tot de la cadena alimentària de l'oceà Àrtic trobem els carnívors: óssos polars, balenes, morses i els diversos pobles inuit que per sobreviure depenen del menjar que puguin obtenir de l'oceà. Aquests animals de grans dimensions mengen animals més petits (foques, aus, mol·luscs), que, al seu torn, mengen peixos o animals petits anomenats zooplàncton. El zooplàncton àrtic té moltes formes i mides, incloent-hi protists unicel·lulars, crustacis semblants a les gambes anomenats eufausiacis i copèpodes, possiblement els animals més abundants de la Terra. A la base de la cadena alimentària àrtica trobem el fitoplàncton: microorganismes vegetals que utilitzen la llum solar i nutrients dissolts en l'aigua per proliferar. Entre aquests microorga-

nismes, els més abundants són les diatomees. L'aspecte singular de la vida als pols és que tot està interconnectat pel gel marí: les diatomees creixen en una abundància plena de color sota el gel, on són consumides per innumerables eufausiacis, que, al seu torn, són consumits per bancs lluents de bacallà àrtic jove. Les foques es mengen el bacallà i alimenten les seves cries, que deixen amagades tot esperant-se impacientment en panes de glaç de la mida d'una ciutat mentre els caçadors inuit passen pel seu costat en plena caça de l'ós polar.

Però la història de la cadena alimentària no s'acaba aquí. En el fred omnipresent de l'ecosistema àrtic hi ha un altre nivell ocult: un soterrani secret ple de bacteris i virus, una comunitat sencera només observable en el microscopi. En deu mil·lilitres d'aigua de qualsevol oceà de la Terra s'hi poden trobar un milió de bacteris; fins i tot a l'oceà Àrtic, on l'aigua té una temperatura gèlida de -2°C . Si observem de manera més detallada el mateix volum d'aigua, hi podem trobar deu milions de virus. Però lluny de suposar un perill per als éssers humans, la immensa majoria d'aquests virus només ataquen els bacteris, i la immensa majoria dels bacteris no ataquen res. Tant els bacteris com els virus són del tot naturals i ocupen una posició molt important en la cadena alimentària oceànica: en reciclar nutrients i degradar molècules orgàniques complexes permeten que proliferin productors primaris com les diatomees. Aquests processos biològics formen part d'un cicle complicat anomenat *cicle microbià*. Si bé el cicle microbià és molt important per mantenir l'elevada productivitat primària que sosté la diversitat de formes de vida de l'Àrtida (inclosos els humans), hi ha un gran desconeixement del cicle microbià en el gel marí en comparació amb l'aigua marina. I el desconeixement de l'activitat microbiana durant el llarg hivern és encara més gran. Per posar remei a aquesta manca de coneixement, els viatges de recerca duts a terme recentment a l'Àrtida ens han permès estudiar l'activitat microbiana al gel marí, fins i tot durant l'època més freda i amb menys llum de l'any.

Escrit per

R. Eric Collins

School of Oceanography and Astrobiology Program de la Universitat de Washington, Seattle (estat de Washington, EUA)

Traduït de l'anglès per Bernat Pujadas

Un viatge pel gel marí



Treballant al gel pels volts de la una del migdia, l'hora de màxima lluminositat diürna.

El meu viatge més recent a l'Àrtida ha estat a bord del vaixell *Amundsen*, del Servei de Guardacostes canadenc, batejat amb el nom de l'intrèpid explorador polar noruec Roald Amundsen, que amb gran habilitat va passar l'hivern de 1905 a bord del seu vaixell, el *Gjøa*, durant el primer viatge que es va fer pel pas del Nord-oest. Com el *Gjøa*, el vaixell canadenc *Amundsen* ha passat molts hiverns al nord del cercle polar àrtic i des de l'octubre de 2007 ha dut a terme de manera continuada treballs de recerca al mar de Beaufort en el marc del «Circumpolar Flaw Lead Systems Study», un projecte que continua fins el juny de 2008. A bord de l'*Amundsen*, grups de 30 investigadors de més de dotze països rellevats cada 6 setmanes treballen en una àmplia gamma de projectes per estudiar aspectes com la reflectància nival, els corrents oceànics, els fluxos del diòxid de carboni o la diversitat microbiana en el gel marí i en l'aigua marina. Jo vaig embarcar-me a mitjans de novembre, just quan el sol es preparava per fer una llarga becaina hivernal.

Sobre el gel, on som amb un petit grup d'investigadors, el sol mai s'eleva per sobre de l'horitzó, però disposem d'un parell d'hores de crepuscle per fer la feina. Utilitzem un mostrejadore que introduïm dins del gel per recollir prou trossos per analitzar-los. Avui el gel té uns 60 centímetres, que és un gruix una mica prim per a aquesta zona i en aquesta època de l'any. Des de la primera mostra mesurem la seva temperatura i observem un gradient que va des de -14°C a dalt de tot, a prop de l'aire, fins a -2°C al fons, a prop de l'aigua del mar. Aquesta diferència de temperatura era previsible, perquè mentre que l'aigua del mar manté una temperatura constant d'uns -2°C , a mesura que avança l'hivern la temperatura de l'aire disminueix i és molt més freda que l'aigua marina, tot mantenint-se estable, a uns -20°C . Allò que fa que la superfície del gel no sigui tan freda com l'aire és que damunt del gel hi ha una capa de 3 cm de neu, i la neu és un gran aïllant. Després d'apartar amb els dits una mica de neu barrejada amb flors de gel, em preparo per obtenir una altra mostra.

Diari de bord.

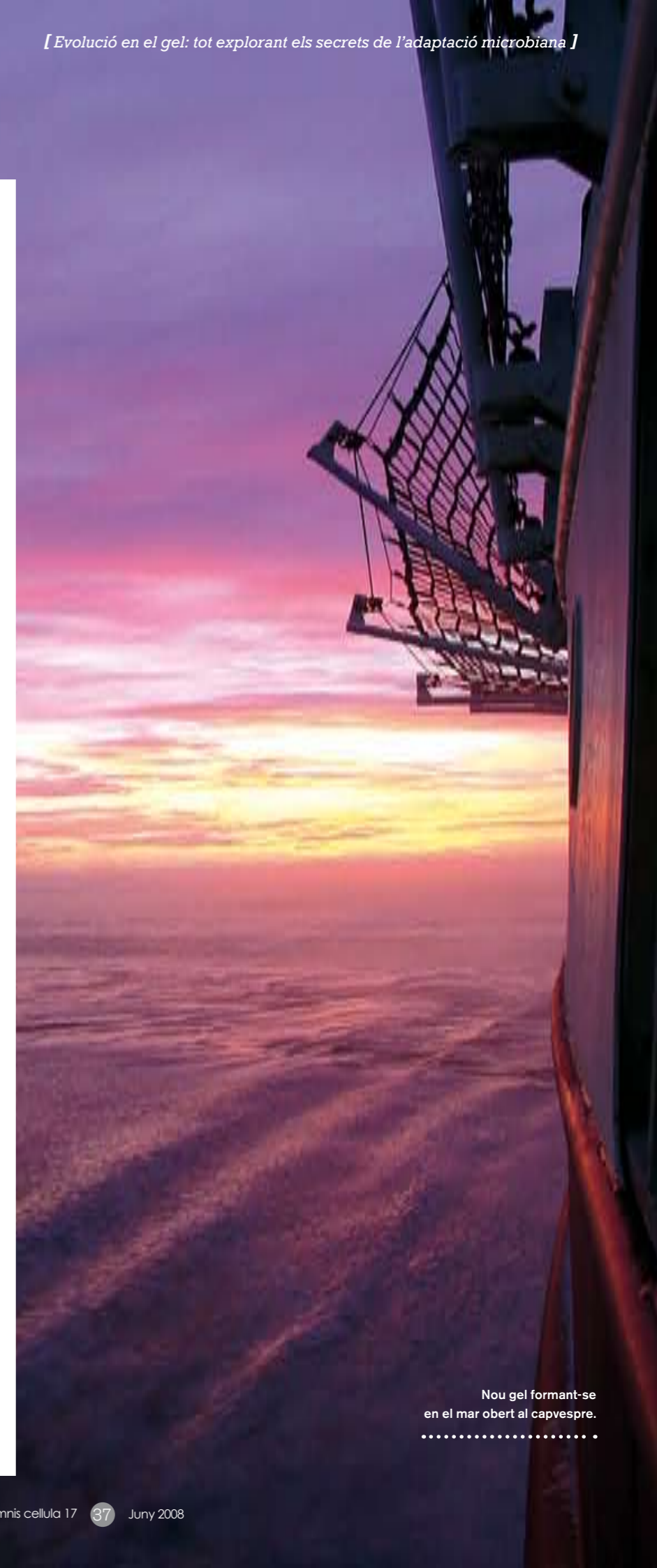
A les aigües àrtiques, a partir de la tardor i durant tot l'hivern, els microbis de l'aigua del mar es queden atrapats en el creixent gel marí. Quan l'aigua es congela, les salts marines i d'altres impureses són rebutjades pels creixents cristalls de gel i es concentren en bosses dins del gel. Com que l'aigua de dins d'aquestes bosses, anomenada salmorra, és molt salada (fins 7 vegades més salada que l'aigua marina) es manté descongelada fins i tot a temperatures molt baixes, i s'ha observat que la major part dels microbis habiten dins d'aquests *canals de salmorra*. Una de les coses que el nostre grup

ha estat estudiant és el misteri de com s'ho fan els bacteris per sobreviure a temperatures de subcongelació i en una aigua extremadament salada; perquè sabem que molts aconseguixen sobreviure. La natura ha estat prou intel·ligent per fer que adaptacions com la capa de greix dels cetacis i els recobriments de pelatge evolucionin. Els humans han estat prou llestos per treure profit d'aquestes invencions i també per inventar-se'n algunes de pròpies, com ara els iglús i els trineus, però..., com s'ho fan els bacteris? No tenen cervell i no poden crear recobriments de pelatge, així que quina mena d'adaptacions han desenvolupat per poder sobreviure en unes condicions tan extremes?

Recullo una altra mostra de gel i la tallo en seccions de 10 cm amb una serra esterilitzada japonesa. Per obtenir mostres més profundes utilitzo un pot de conserves que em permet extreure el gel de dins el forat. Per poder treballar a l'Àrtida has de ser creatiu! Regularment inventem nous trucs i tècniques per fer la nostra feina, perquè a temperatures per sota dels -20°C no hi ha res que funcioni com se suposa que ha de funcionar: la cinta adhesiva no s'enganxa, el plàstic s'esmicola, les piles es moren, els dits se't congelen, els dits del peu també, fins i tot les pestanyes se't congelen! Quan acabo de tallar les seccions de gel i les col·loco dins de bosses estèrils per dur-les al vaixell, submergeixo una ampolla pel forat del gel per recollir una mica d'aigua de mar i així poder comparar-la amb el gel a partir de la qual s'ha glaçat. Un cop hàgim tornat a entrar en calor a l'*Amundsen*, trituraré el gel, el fondré i agafaré mostres d'aigua fosa per analitzar-les microbiològicament i químicament.

Diari de bord.

Gràcies a l'estudi dels bacteris al laboratori, hem après uns quants secrets de la supervivència en un clima tan fred. Per exemple, sabem que els microbis adaptats al fred canvien els tipus de molècules de greix de la seva paret cel·lular per tal d'evitar que se li solidifiquin les membranes, produeixen unes substàncies químiques anomenades *soluts compatibles* que contraresten els efectes de la sal, utilitzen els aminoàcids de manera diferent en les seves proteïnes per tal de funcionar millor a temperatures baixes, produeixen una substància gelatinosa enganxosa anomenada EPS (substàncies polimèriques



Nou gel formant-se en el mar obert al capvespre.



Flors de gel formades a partir de gel jove quan la salmorra és expulsada dels canals de dins del gel.



extracel·lulars, per la seva sigla en anglès), de tal manera que queden envoltats d'un coixí tou que els protegeix davant de la possibilitat de ser aixafats o colpejats pels creixents cristalls de gel. S'ha observat que hi ha un tipus d'EPS produïda per les diatomees que afecta l'estructura del gel, ja que fa que els canals de salmorra esdevinguin més sinuosos del que és habitual i es creï un hàbitat més favorable a aquestes algues del gel. Una pregunta que m'agradaria poder contestar amb la meva investigació és: com els han après, els microbis del gel marí, tots aquests secrets?

Un cop fos el gel que he recollit, començo a processar-lo juntament amb l'aigua del mar. Primer, agafo una petita quantitat de tots dos líquids i els conservo amb formaldehid. Això mata els bacteris i evita que es reproduïxin, però també en conserva la forma, amb la qual cosa es poden comptar en el microscopi. Llavors, passo l'aigua per diversos tipus de filtres, que m'enduré a Seattle per mesurar diverses propietats del gel i de l'aigua. Per exemple, mesuraré la clorofil·la (com a indicador indirecte dels productors primaris), el carboni orgànic particulat i el nitrogen orgànic particulat (nutrients que podrien ser reciclats pels microbis), la matèria particulada suspesa (per exemple, grans de sòl, que són una mena de bé immoble microbià de primer ordre) i l'EPS (el recobriments protector enganxós). Finalment, passo aigua pel filtre més petit, que reté tots els bacteris i així es podrà analitzar la diversitat de la comunitat mitjançant la seqüenciació del DNA. Utilitzo l'aigua que passa per l'últim filtre per comptar el nombre de virus i mesurar la quantitat de DNA dissolt en l'aigua. Tot seguit, em preparo per fer una altra sortida al gel.

Diari de bord.

Els microbis tenen diversos mètodes per aprendre nous secrets –és a dir, per obtenir noves eines genètiques– que els permetin gestio-

nar situacions d'estrès. Un mètode és l'acumulació de mutacions aleatòries en el genoma del microbi al llarg de milers o milions d'anys, cadascuna de les quals aporta de manera potencial un avantatge petit però significatiu per al microbi en unes circumstàncies determinades. Aquest ha estat probablement l'origen dels *lipids de la membrana* i de *l'ús dels aminoàcids*. Aquesta mena d'adaptació pot tenir lloc de manera més ràpida en cas que es dugui a terme una apropiació i una optimització d'una eina vella per a un objectiu nou, que podria ser una explicació de com es va començar a utilitzar l'eina de l'EPS, ja que els microbis utilitzen moltes formes diverses d'EPS per a objectius diversos en entorns diversos, inclòs el cos humà. Un altre mètode per obtenir una eina nova és manllevant-la d'un veí, un procediment que en el context microbià s'anomena *transferència horitzontal de gens*. Per exemple, a vegades els virus poden tenir un funcionament deficient i poden transferir DNA d'un microbi a un altre; aquest procediment s'anomena *transducció*. Un altre mètode de transferència horitzontal de gens, la *transformació*, es produeix quan un microbi agafa DNA dissolt en l'aigua i l'incorpora en el seu genoma. Si cap fragment d'aquest DNA transferit conté gens útils, com els que codifiquen la producció d'un solut compatible, aleshores pot resultar avantatjós per al receptor. En últim terme, aquesta cèl·lula podria superar competitivament els seus congèneres i assolir una posició dominant, o bé podria envair un nou nínxol. Mesurant l'abundància de virus i de DNA dissolt en el gel espero poder assolir un coneixement millor de com els microbis del gel marí de l'Àrtida s'han adaptat als entorns extrems amb què es troben cada dia, o, si més no, com ho fan a principis d'aquest segle. Tenim un coneixement tan limitat de les comunitats microbianes de l'Àrtida que realment no podem predir com reaccionaran davant del canvi climàtic, tot i que no tinc cap dubte que en últim terme, d'alguna

manera o altra, s'adaptaran. Potser la pregunta més urgent és: com ho farem nosaltres?

Ja és fosc quan torno caminant cap al vaixell després d'un altre dia positiu al gel. Els estels brillen i es percep el tènue xiuxiueig de l'aurora boreal, la llum que de tant en tant cobreix el cel amb una llum diàfana brillant. Miro enlaire i veig un estel que brilla. No, un moment, és Mart! Penso en el fet que la superfície de Mart també és freda, molt més freda que la superfície de l'Àrtida en un dia com avui. I així són la majoria de llocs del nostre sistema solar: el gel és l'estat natural de l'aigua en la immensa major part del nostre immens univers. Continuo el meu pas zigzagejant, encara embadocat davant del cel. La neu cruix sota les meves botes. M'imagino que sóc un astronauta que explora un planeta glaçat ben lluny de la Terra, que busca formes de vida i sap que, si hi ha vida, probablement es trobi en el gel lluent que trepitjo.

Diari de bord. I

Referències

- Collins, R. E. [et al.]. «Spatial heterogeneity and temporal dynamics of particles, bacteria, and pEPS in Arctic winter sea ice». *Journal of Marine Systems* [A revisió].
- Deming, J. W. (2002). «Psychrophiles and polar regions». *Current Opinion in Microbiology*, 5(3):301–309.
- Doolittle, W. F. (1999). «Phylogenetic classification and the universal tree». *Science*, 284(5423):2124–2128.
- Hermansson, M.; Linberg, C. (1994). «Gene transfer in the marine environment». *FEMS Microbiology Ecology*, 15(1-2):47–54.
- Junge, K., [et al.] (2004). «Bacterial activity at –2 to –20 degrees C in Arctic wintertime sea ice». *Applied and Environmental Microbiology*, 70(1):550–557.
- Krembs, C.; Deming, J.W. (2008). «The Role of Exopolymers in Microbial Adaptation to Sea Ice». A: Margesin, R. [et al.], eds. *Psychrophiles: from biodiversity to biotechnology*. Springer-Verlag.
- Krembs, C. [et al.] (2002). «High concentrations of exopolymeric substances in Arctic winter sea ice: implications for the polar ocean carbon cycle and cryoprotection of diatoms». *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers*, 49(12):2163–2181.
- Lizotte, M. (2003). «Microbiology». A: Thomas, D.; Dieckmann, G., eds. *Sea Ice: An Introduction to its Physics, Chemistry, Biology and Geology*. Londres: Blackwell Science, 184–210.
- Lorenz, M.G. i Wackernagel, W. (1994). «Bacterial gene transfer by natural genetic transformation in the environment». *Microbiological Reviews*, 58(3):563–602.
- Mock, T. i Thomas, D.N. (2005). «Recent advances in sea-ice microbiology». *Environmental Microbiology*, 7(5):605–619.
- Wells, L.E. i Deming, J.W. (2006). «Modelled and measured dynamics of viruses in Arctic winter sea-ice brines». *Environmental Microbiology*, 8(6):1115–1121.