
4. ECOLOGIA I EVOLUCIÓ ALS MEDIS AQUÀTICS

Cristian R. Altaba*

La biosfera és fonamentalment líquida. Certament, els éssers vius contenen aigua en una proporció considerable, de manera que en una mitjana general aquesta és el component majoritari de la matèria viva. En els casos concrets, però, el contingut d'aigua varia dintre de límits força amplis. Així, pot ésser summament baix en algunes formes de resistència a ambients eixuts, com ara algunes llavors que es mantenen viables durant segles, o animalets com els tardígrads, capaços d'entrar en un estat temporal de vida latent quasi secs del tot. A l'altre extrem, gairebé tot el cos pot ésser aigua, com passa en animals marins dels grups dels cnidaris i ctenòfors. Ara bé, l'afirmació inicial sobre la liquidesa biosfèrica es refereix no sols als organismes vivents, sinó a la totalitat de la regió de l'Univers ocupada per la vida.

Considerem algunes dades. Les tres quartes parts de la superfície de la Terra estan cobertes pels oceans, els quals tenen una profunditat mitjana de quatre kilòmetres (un xic més del que hauríem pensat intuïtivament). A més, cal afegir totes les aigües que no són marines, com ara fonts, rius i llacs de tota mena i extensió. En canvi, la part de la biosfera formada per ecosistemes terrestres, la que ens és més coneguda i la que habitem, ocupa només una primíssima capa adherida per damunt (i una mica per dins) de menys d'una cinquena part de la superfície planetària. Atès que ho desconeixem

* Institut d'Estudis Avançats de les Illes Balears (CSIC-UIB). Ctra. de Valldemossa, km 7,5. 07071 Palma de Mallorca.

Aigua

quasi tot de moltes regions marines, lacustres i fluvials del món, hom pot concloure que vivim en un planeta en bona part inexplorat.

L'aigua és un component majoritari però també essencial dels éssers vius: la vida sense aigua no pot existir..., però pot sorprendre pensar que l'aigua tampoc no existiria, almenys tal com la coneixem, sense la vida mateixa. Sabem, en aquests moments, que la composició de l'atmosfera actual és deguda a l'efecte dels organismes vius des d'èpoques remotes; des de llavors ha plogut molt, d'una manera literal i lligada a l'activitat biològica. La història d'aquest planeta, doncs, és en gran mesura el resultat de la interacció entre l'aigua i la vida que hi pul·lula.

L'evolució biològica ha estat fortament condicionada per les limitacions que imposen les característiques de l'aigua. Les propietats físico-químiques d'aquest compost i les lleis de la dinàmica de fluids delimiten les possibilitats que té la vida. La mida, els moviments, l'alimentació, la reproducció, la fisiologia..., tot el disseny dels organismes és un cúmul de solucions a les pressions selectives d'una realitat concreta. Totes aquestes solucions pertanyen al conjunt afitat de realitats funcionals, dins de la infinita gamma de possibilitats imaginables.

L'evolució, però, és molt més que pura enginyeria. La teoria de l'evolució (l'explicació científica d'un fet empíric) constitueix una visió més àmplia de la vida. Aquesta és el resultat d'un procés molt llarg de solucions que mai no són del tot òptimes, sinó més aviat compromisos entre l'òptim teòric i les limitacions de forma i funció preexistents. Atesa la irrepitibilitat de cada situació ambiental i orgànica particular, l'evolució té un component històric molt gran: no es pot fer marxa enrera ni es pot esborrar el passat. La història és, en aquest sentit, la suma d'esdeveniments passats, únics i irrepetibles, que menen al present. Quan observem un organisme, cal pensar que és el resultat de la selecció natural actuant sobre un material complicadíssim i que no admet qualsevol canvi.

L'aigua que forma part de la biosfera és en moviment continu. Els ecosistemes aquàtics, que es defineixen com aquells ambients on els organismes estan en contacte directe amb aigua líquida lliure, suporten un flux més o menys intens del medi. Per sobre de tot, és la dinàmica de la massa d'aigua envoltant el que determina la supervivència dels organismes. Nosaltres, els humans, tampoc no escapem d'aquest fet general: conèixer la biologia dels medis aquàtics,

doncs, és imprescindible per a comprendre la nostra relació amb l'aigua mateixa.

La circulació global de l'aigua s'anomena *cicle hidrològic*: la pluja llisca o s'infiltra i forma corrents per dins i per damunt de les terres emergides fins a la mar, on s'evapora per formar els núvols, els quals són l'origen de la pluja. També hi ha camins alternatius, com és ara la formació de llacs i gèleres, però l'esquema general ens permet de fer un viatge interessant, tot anant contracorrent. Així, iniciem el tomb, literalment, pels núvols.

La radiació solar que arriba a la Terra escalfa la superfície sòlida del planeta, però també els embolcalls líquid (la hidrosfera) i gasós (l'atmosfera). Com que la Terra és més o menys esfèrica i gira entorn del seu propi eix, els raigs solars arriben amb una orientació diferent segons la latitud i l'època de l'any. A l'equador, els raigs solars arriben amb una orientació perpendicular a la superfície de la Terra. A mesura que anem vers els pols, però, hi arriben més i més obliquament, de manera que la calor es distribueix sobre una superfície major. Això provoca diferències de temperatura que causen una distribució no homogènia de l'evaporació, i també el moviment de masses importants d'aire i aigua.

Els éssers vius són molt afectats per aquest fenomen: mentre que a les aigües tropicals la temperatura és favorable i més o menys constant, a les regions polars el metabolisme resulta disminuït. Prop de l'equador, allà on l'aigua de la mar mai no cau per dessota els vint graus centígrads, es desenvolupen els esculls de corall: es tracta de construccions de dimensions inversemblants, certament molt més grans que les obres humanes, però els constructors són pòlips diminuts que segreguen un embolcall calcari on viure. Els pòlips s'alimenten de la llum del sol, car contenen algunes fotosintètiques unicel·lulars dins de llurs teixits, i per això necessiten, a més d'aigua càlida, molta llum i aigua neta.

Allà on l'aigua és molt freda, en canvi, cal evitar la formació de gel dins del cos, la qual cosa fa que hi hagi anticongelants en concentracions elevades, per exemple a la sang de molts peixos antàrtics. Per als animals que tenen mecanismes propis de generació de calor, la situació no és tan desfavorable, encara que es tracta de mantenir un metabolisme costós. Però cal també tenir dispositius per a mantenir l'escalfor: capes de greix subcutani suficients, com en les foques i les balenes, i xarxes capil·lars per a l'intercanvi

Aigua

tèrmic, que minimitzen les pèrdues allà on hi ha teixits ben irrigats en contacte amb el medi extern (aletes, brànquies, etc.).

La circulació de fluids sobre la superfície del planeta constitueix el motor principal de la biosfera. L'escalfament d'una massa d'aire comporta una disminució de la seva densitat, per la qual cosa tendeix a ascendir. Ara bé, el mateix escalfament causa l'evaporació de l'aigua, que passa a formar part de la massa d'aire calent en forma de vapor. En ascendir vers capes més elevades de l'atmosfera, es dona un refredament del conjunt, i llavors es desencadena el procés invers: l'aigua torna a l'estat líquid —forma núvols primer i pluja després— i l'aire augmenta en densitat i tendeix a descendir.

Si recordem les diferències latitudinals en la intensitat de l'escalfament produït pel sol, podem explicar, amb un esquema prou senzill, l'existència de bandes climàtiques a escala mundial. L'escalfament variable amb la latitud provoca la formació de cel·les de convecció en la circulació atmosfèrica global. A l'equador, on l'escalfament és màxim, l'aire calent i carregat de vapor d'aigua ascendeix, i dona lloc a pluges intenses. Aquesta és la zona ocupada per les pluviàsilves, on molts organismes aquàtics viuen en indrets insospitats. Per exemple, sobre les plantes la pluja forma bassiols en fulles i troncs: són les anomenades *fitotelmes*, petits cocons on hom pot trobar un seguit d'espècies, algunes d'elles, com diversos mosquits, adaptades específicament a aquest hàbitat.

En refredar-se, l'aire descendeix sobre les regions intertropicals com una massa d'aire sec; per això hi ha deserts en aquestes regions, a ambdós hemisferis. Els rierols i els llacs que hi ha als deserts contenen faunes i flores del màxim interès, car, a causa de l'aïllament extrem que pateixen, s'hi han diferenciat moltes espècies que tenen distribucions geogràfiques sovint restringides a una àrea de pocs metres. L'arribada de la civilització (no només la occidental) en aquests indrets remots és sovint una catàstrofe, car l'alteració o fins i tot la destrucció dels ambients naturals dels oasis comporta l'extinció de les espècies endèmiques. La magnitud d'aquest problema es coneix gràcies al seguiment d'algunes zones del sud-oest de Nord-amèrica, on se sap que han desaparegut dotzenes d'espècies de peixos i amfibis, i probablement centenars d'organismes més petits i menys estudiats.

A les latituds temperades, l'aire escalfat de nou arran de la superfície torna a ascendir i origina una altra banda de climes humits. Finalment, quan es torna a refredar, l'aire cau sobre les regions po-

lars, que, encara que molt fredes, són desèrtiques pel que fa a precipitacions.

Aquest model de circulació té qualque complicació important en la realitat. En primer lloc, el moviment de translació terrestre, en tenir lloc sobre un pla inclinat respecte a l'eix de rotació, origina el canvi d'estacions al llarg de l'any: quan és estiu al nord, és hivern al sud, i a l'inrevés. Molts ocells i alguns insectes emigren cada any de les latituds altes, on han criat aprofitant el bon temps, i es desplacen vers latituds més baixes, o fins i tot cap a l'hemisferi oposat.

Amb el canvi d'estacions, l'equador climàtic es desplaça sobre l'equador terrestre. Així doncs, les bandes climàtiques es desplacen un xic latitudinalment. A les regions intertropicals, això causa l'alternança d'una estació seca i una de plujosa. Per als animals que habiten els rius d'aquestes latituds, les crescudes són un temps d'abundor, car es poden desplaçar per zones submergides extenses i molt productives. Al bosc de ribera inundat creixen organismes aquàtics, i quan les aigües tornen a baixar hom pot trobar, per exemple, esponges d'aigua dolça, ja assecades, damunt de les branques. També el bosc aprofita la crescuda, com passa a l'Amazònia, on hi ha peixos que s'alimenten dels fruits dels arbres i dispersen les llavors.

A l'estació seca, però, molts rius es redueixen a un conjunt de basses separades, on es refugien els qui no poden resistir enterrats al fang i no han mort en un tram que s'ha eixugat. A les basses té lloc encara una gran mortaldat deguda a la superpoblació, a la depredació facilitada i a l'activitat dels animals terrestres que hi van a beure i banyar-se. Quan tornen les pluges, es produeix l'espectacle de milions de peixos remuntant els rius, una migració de vegades tan llarga que és comparable a la dels ocells. Aquest costum d'anar contracorrent és freqüent en els animals que habiten els rius, i té la funció essencial de contrarestar l'arrossegament continu. Els organismes que no poden moure's a una velocitat suficient han inventat maneres d'utilitzar altres que sí que ho poden fer: per exemple, les nàiades, els grans bivalves d'aigua dolça, tenen una fase larvària que és paràsita temporal en la superfície dels peixos.

Una altra complicació en el model de circulació atmosfèrica global està en la rotació terrestre, que origina una acceleració perpendicular a la direcció del moviment, anomenada *acceleració de Coriolis*. Aquesta força és responsable del fet que l'aigua d'una pica

Aigua

s'escoli fent un remolí, i en un sentit contrari a cada hemisferi. Aquí rau l'origen dels vents alisis, fonamentals per al clima de les regions tropicals. Amb aquests vents es poden dispersar a grans distàncies els ous i altres formes de resistència d'organismes que viuen en aigües temporals; aquest és el cas de crustacis que habiten extenses regions estepàries i semidesèrtiques de l'Antic Món.

Prop dels cercles polars, la desviació origina el vent polar, que bufa en direcció est. L'acceleració de Coriolis torna a causar problemes quan qualsevol desviació del vent polar s'amplifica en forma d'una sinuositat, coneguda per *ona polar*, que acaba desprenent-se com un anell que gira. L'impacte d'aquest sistema de perturbacions sobre els ecosistemes aquàtics és molt fort, perquè obliga els organismes a tenir la capacitat de resistir canvis tèrmics sobtats. A més, el vent pot bufar amb molta intensitat i causar la barreja de l'aigua dels llacs. Després de l'estiu, aquesta tendeix a estar estratificada, amb les capes més calentes, i per tant menys denses, situades al damunt; a les capes inferiors, l'oxigen pot arribar a esgotar-se, però s'hi acumulen els nutrients que cauen des de les capes situades per damunt. Així doncs, quan es produeix la barreja vertical, els llacs de les regions temperades augmenten llur productivitat, car es troben junts l'oxigen, la llum i els nutrients.

Els relleus de les terres emergides formen barreres que obliguen els vents a ascendir: per això plou on les muntanyes aturen els vents, i en canvi hi ha regions eixutes on el vent, ja havent descarregat l'aigua que contenia, arriba de les muntanyes. L'efecte barrera origina zones amb pocs rius a la banda arrecerada; com que els pòlips dels coralls no suporten salinitats baixes, a moltes illes tropicals els esculls coral·lins se situen a la banda eixuta.

L'efecte del vent sobre la superfície de la mar és igualment important. Com passa als llacs, la fricció que resulta posa en moviment les capes superficials, que al seu torn arrosseguen capes més profundes. A causa de l'acceleració de Coriolis, però, a una certa fondària el moviment net d'una gran massa d'aigua és perpendicular a la direcció del vent, cap a la dreta a l'hemisferi nord, i a més fondària pot arribar a ser oposat al vent. Un vent oblicu a la línia de costa, doncs, pot generar un moviment net de l'aigua mar endins: les capes profundes ascendeixen i duen els nutrients acumulats a una fondària prou petita perquè hi arribi la llum del sol, amb la qual cosa té lloc una proliferació de fitoplàncton. En aquestes zones d'aflorament té lloc un increment de la productivitat marina,

d'aproximadament un ordre de magnitud respecte a la mitjana dels oceans.

Els afloraments més importants estan localitzats a les zones afectades pels vents alisis, al davant de costes desèrtiques: Namíbia, Sàhara, Califòrnia, Somàlia i Perú. Aquests noms són coneguts a causa de les guerres que hi han tingut lloc en temps poc o molt recents... No ha d'estranyar que es tracti d'indrets amb recursos naturals excepcionals: d'una banda, els caladors de pesca són d'una prodigalitat fabulosa, per bé que en els darrers anys ha minvat a causa d'una sobreexplotació cobdiciosa i insensata, i de l'altra, hi ha jaciments molt importants de fosfats. Aquests minerals s'hi han format per acumulació en el sediment dels excedents d'ecosistemes marins accelerats per la disponibilitat de nutrients i llum. En bona part, també hi han intervingut els ocells marins, que mengen a la mar però aporten els excrements o *guano* a la costa durant l'època de nidificació, quan es congreguen en concentracions inusitades.

El contingut salí de l'aigua marina és força constant arreu del planeta. Les petites diferències que hi ha, però, resulten d'una gran importància en el funcionament dels oceans. Això es deu al fet que una major concentració de sals implica una densitat més elevada, de manera que la salinitat és tan important com la temperatura quant a determinar l'ascens o l'enfonsament d'una massa d'aigua. Com a factors que afecten la salinitat, cal destacar la dilució a causa de l'aport d'aigües dolces per la pluja i els rius, i la concentració que resulta de la formació de gel, en passar una bona part dels soluts de l'aigua que es glaça a l'aigua líquida que hi ha just per sota. Amb aquests mecanismes, ja podem copsar la rellevància de l'anomenada *circulació termohalina*.

Tant a causa dels vents com de les diferències de temperatura i la salinitat, es formen els corrents marins. Per a comprendre la circulació oceànica global cal tenir present la geografia real, que no és gens regular: per exemple, hi ha més oceà, i és més continu, a l'hemisferi sud que no al nord.

L'aigua de les grans profunditats oceàniques, que procedeix de les regions polars a causa de la seva baixa temperatura i elevada salinitat, es forma majoritàriament prop de l'Antàrtida, i en menor proporció a l'oceà Àrtic. Les regions àrtiques de l'Atlàntic i el Pacífic aporten aigües que es mouen a una menor profunditat. L'homogeneïtat i els moviments de les capes profundes sembla que tenen un paper important en la dispersió de molts organismes ma-

Aigua

rins, que es troben a poca fondària prop dels pols, però arreu a fondàries considerables.

Els oceans són, de llarg, el medi aquàtic més extens i més antic. A la mar tenen llur origen tots els embrancaments del regne animal i possiblement la vida mateixa. Una xarxa fina pot recollir en poc temps una selecció impressionant de formes de vida a qualsevol mar. Aquests organismes flotadors reben el nom col·lectiu de *plàncton*, i per llur abundància i diversitat són un component fonamental de la biosfera. Per tal d'evitar l'enfonsament, els organismes planctònics tenen una gran superfície relativa respecte al volum del cos, cosa que aconsegueixen amb formes extravagants i apèndixs sorprenents. Molts tenen esquelets reduïts per a minimitzar el pes, i d'altres contenen una gran proporció d'aigua, o fins i tot flotadors com ara els greixos de les diatomees, o el gas que infla la part superior dels sifonòfors, meduses colonials que tenen una veritable vela que sobresurt vers l'exterior.

Al plàncton hom troba algues unicel·lulars de formes i mides molt variades, un repertori encara poc conegut de bacteris, multitud d'animals especialitzats a viure entre dues aigües i legions de larves. La identitat d'aquestes larves és molt variada, car són molts els animals marins que passen una etapa juvenil al plàncton. Aquesta etapa pelàgica del cycle vital aprofita l'abundància de recursos del plàncton, i alhora possibilita la dispersió de les poblacions amb els corrents. Així, en aquells grups on hi ha espècies amb larves planctòniques i larves que viuen com els adults sobre el fons, les primeres tenen distribucions geogràfiques molt àmplies, mentre que entre les segones abunden els endemismes de regions sovint molt limitades. Quan les larves experimenten la metamorfosi i cauen al fons per a menar la vida adulta, cerquen indrets apropiats per a viure-hi, i sempre entren en competència amb altres individus de la mateixa o d'altres espècies.

La «pluja» de juvenils que acaben una etapa al plàncton es pot considerar relativament uniforme. Com que està formada per moltes espècies distintes, no es pot predir a quina pot pertànyer el nou vingut que s'instal·la en un punt concret. La diversitat d'espècies amb requeriments ecològics semblants, com ara molts peixos dels esculls coral·lins, es pot mantenir amb aquesta mena de loteria a nivells força elevats. Un mecanisme semblant opera sobre la diversitat del plàncton, on cada situació de llum i nutrients podria afavorir una o poques espècies d'algues, però el moviment i la bar-

reja de l'aigua fa que mai cap d'elles no arribi a dominar del tot.

Alguns llacs particularment extensos i antics contenen faunes excepcionalment riques i amb moltes espècies que no es troben enlloc més. El Baikal, el Tanganyika, l'Ocrida i d'altres estan situats en fosses tectòniques, de manera que s'impedeix el rebliment pels sediments arrossegats pels rius que hi desemboquen. Aquests llacs contrasten amb tots els altres pel que fa a llur antiguitat, que en lloc d'ésser de pocs segles o mil·lennis, és de l'ordre del milió d'anys. Les formes dels animals que hi viuen recorda, sovint d'una manera francament sorprenent, la d'altres que viuen a la mar. Hom havia pensat que es tractava de trossos de mar aïllats pels canvis geològics, però avui és clar que són faunes originades localment a partir dels elements que viuen als rius propers. Com a la mar, a molta fondària el sediment és molt tendre, de manera que cal tenir un cos ample i amb expansions per a desplaçar-s'hi. Com al litoral marí, les ones generen un ambient amb flux turbulent, i cal poder evitar ésser arrossegat, mitjançant formes baixes o arrodonides i mecanismes de fixació a les roques. També hi ha una intensitat de depredació comparable a la que es dona a la mar, i els esquelets de protecció formen punxes i engruiximents més propis d'animals marins. Com als esculls coral·lins, la diversitat de peixos és sovint astronòmica; però es tracta d'espècies molt relacionades filogenèticament, que s'han diferenciat modificant intensament llur aspecte i *modus* de vida.

La convergència entre les faunes de diferents llacs i la mar demostra que les pressions selectives poden ésser semblants, independentment de la salinitat. Quan dues masses d'aigua tenen una dinàmica comparable, si hi ha un temps suficient, la vida adopta solucions semblants, encara que a partir de materials molt diversos.