

L'aigua de mar i els corrents marins

Podríem dir que l'aigua de mar s'assembla més a una mena de sopa que a l'aigua pura. S'assembla a una sopa en el sentit que conté moltes molècules dissoltes i també moltes partícules que romanen suspeses a l'aigua. Els gasos dissolts més importants dins l'aigua de mar són el nitrogen (N_2), l'oxigen (O_2) i el diòxid de carboni (CO_2); els dos últims varien segons l'activitat biològica, sobretot.

Composició elemental de l'aigua de mar

Els elements i molècules més abundants determinen l'anomenada *composició elemental* de l'aigua de mar. La composició elemental de l'aigua de mar és la següent:

| | |
|----------|---------|
| Oxigen | 85,8 % |
| Hidrogen | 10,8 % |
| Clor | 1,9 % |
| Sodi | 1 % |
| Magnesi | 0,13 % |
| Sofre | 0,09 % |
| Calci | 0,04 % |
| Potassi | 0,04 % |
| Brom | 0,007 % |
| Carboni | 0,003 % |

La salinitat

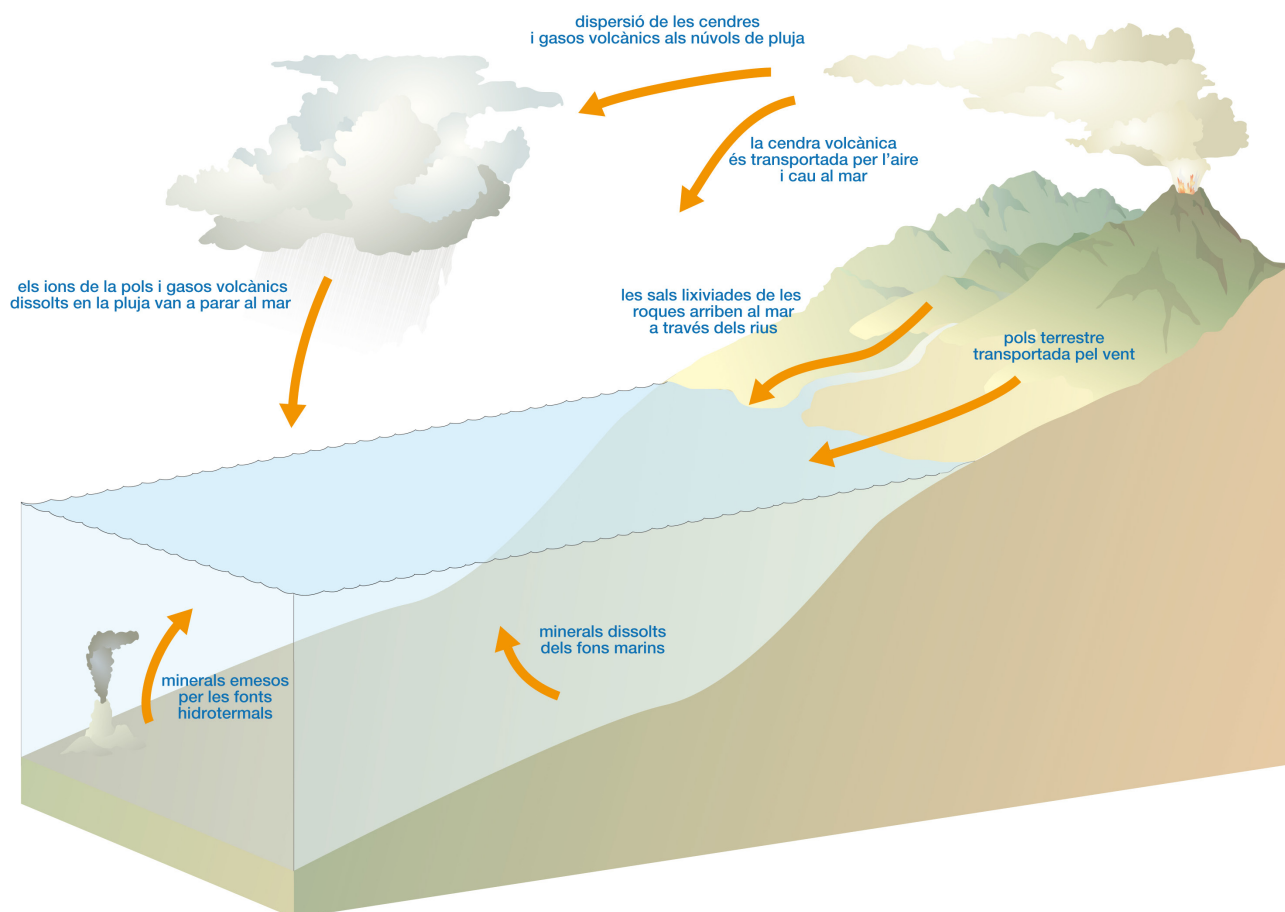
Moltes de les substàncies que hi ha dins l'aigua són tan petites que no es veuen a ull nu. Entre les substàncies que hi ha dissoltes a l'aigua, trobem nombroses sals, que confereixen a l'aigua més salinitat de la que tenen les aigües continentals. L'aigua de mar té una salinitat mitjana d'unes 35 psu¹. Això vol dir que cada litre d'aigua de mar conté aproximadament uns 35 grams de sals dissoltes, entre les quals predomina el clorur de sodi ($NaCl$), el que coneixem comunament com *sal*. Aquestes sals contribueixen a donar a l'aigua de mar més densitat que les aigües continentals, i també fan que el punt de congelació de l'aigua de mar sigui menor —l'aigua de mar es congela a uns $-2^\circ C$.

1 psu: unitat pràctica de salinitat.

La densitat de l'aigua –quantitat de massa per unitat de volum que hi ha en una solució– és afectada per la seva salinitat i temperatura, tot i que ambdues tenen efectes contraris sobre la densitat: a major salinitat, més densitat i, en canvi, a menor temperatura, més densitat.

La salinitat de l'aigua de mar, però, pot variar bastant entre diferents mars. Per exemple, en el mar Mort, que està força isolat i en el qual hi ha molta evaporació, la salinitat pot ser molt elevada –de més de 280 ‰, és a dir, és més d'onze vegades més salat que l'oceà, en promig–; en canvi, a l'Antàrtida trobem habitualment salinitats de 33 o 34 psu, a causa, en part, de l'efecte de dilució dels icebergs i les masses de gel continental.

Però, d'on vénen les sals del mar? Els ions que formen la sal dels oceans hi arriben per diversos mecanismes: pel transport pels rius –després de ser dissolts de les roques terrestres en un procés que s'anomena *lixiviació*–, per les surgències hidrotermals del fons del mar, per la pols que el vent transporta des de terra i per les cendres volcàniques.



Jordi Corbera

Fig. 1. Esquema on es mostren les majors fonts de les sals que trobem al mar.

De vegades, es poden observar grans aportacions de pols de terra endins sobre l'oceà, transportada pels vents; les tempestes de sorra provinents del desert del Sàhara fotografades des d'un satèl·lit, en són un exemple.

La salinitat del mar sol variar en funció de l'estació de l'any i de les condicions ambientals. L'evaporació té un efecte concentrador de la salinitat, i les avingudes d'aigua dels rius i de la pluja contribueixen a disminuir la salinitat del mar. De vegades, si l'evaporació és molt intensa, en les llacunes litorals pot arribar a desaparèixer l'aigua i es formen precipitats de sal. És el que ocorre en les salines.

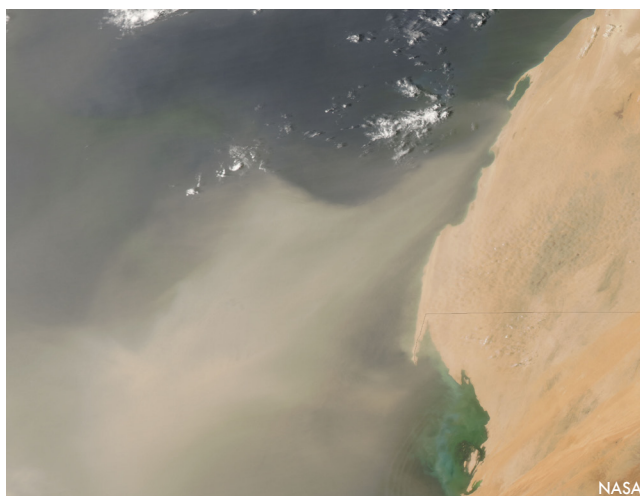


Fig. 2. La sorra dels deserts pot ser transportada mar endins pels vents, com s'observa en aquesta imatge de satèl·lit de la costa atlàntica d'Àfrica.



Fig. 3. ← Les salines es creen en indrets on l'evaporació és molt intensa. → Cristall de sal vist al microscopi.

En general, l'aigua de mar té més sals dissoltes que les aigües continentals. Però les proporcions dels diferents soluts poden ser molt diferents; per exemple, tot i que l'aigua de mar tingui gairebé tres vegades més bicarbonat (en concentració) que les aigües dels rius, el percentatge d'aquest bicarbonat respecte la resta de les altres sals dissoltes és menor en l'aigua de mar: el bicarbonat dissolt representa un 48 % de les sals dels rius, però només un 0,14 % dels ions de l'aigua de mar.

Aquestes diferències es deuen als diferents temps de residència a l'aigua que tenen els diferents soluts. El *temps de residència* és el temps promig que roman una molècula o una substància a l'aigua de mar. Així, el sodi i el clor tenen temps de residència molt llargs, però el calci tendeix a precipitar molt ràpidament, per exemple. En general trobem la sal de l'oceà en forma d'ions –

partícules carregades, alguns amb càrrega negativa i d'altres amb càrrega positiva—. Les concentracions aproximades (en percentatge) d'ions a l'aigua de mar, presents en aquestes proporcions en tots els oceans, són:

| | |
|-------------------------------|--------|
| Cl ⁻ | 55,3 % |
| Na ⁺ | 30,6% |
| SO ₄ ²⁻ | 7,7 % |
| Mg ²⁺ | 3,7 % |
| Ca ²⁺ | 1,2 % |
| K ⁺ | 1,1 % |
| Bicarbonat | 0,4 % |

Moltes d'aquestes substàncies, i d'altres que es troben al mar en quantitats menors són d'importància vital per als organismes marins. Per exemple, nombrosos organismes construeixen les parts més dures del seu cos amb carbonat de calci, i el fitoplàncton necessita ferro per desenvolupar-se. Hi ha algunes molècules dissoltes a l'aigua que són essencials per a nombrosos organismes, com els fosfats, els nitrats, l'amoni i els silicats; n'hi ha d'altres, com el ferro, també necessàries per a molts organismes, però en menors quantitats.

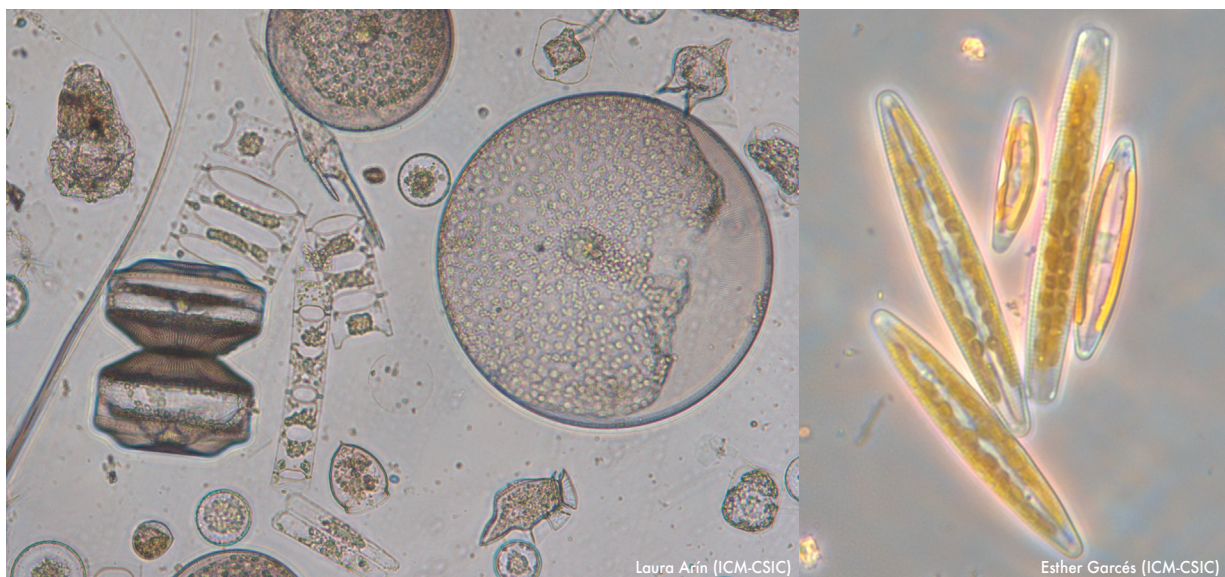


Fig. 4. ← Els organismes del fitoplàncton necessiten nombrosos nutrients per viure: alguns en quantitats majors i altres en menors. → Les diatomees necessiten silici per construir els seus frústuls.

Els corrents marins

Els oceans, encara que semblin molt homogenis des de fora, estan recorreguts per corrents marins molt diferents entre si: alguns són més freds, altres més calents, d'altres més salats. Podríem dir que els corrents semblen rius dins del mar. La seva dinàmica és vital no només per als organismes marins, sinó també perquè ajuden a distribuir la calor pel planeta, contribuint alhora a la distribució dels grans climes. A més a més, col·laboren a suavitzar el clima litoral en les zones de climes extrems; això és possible gràcies a l'elevada calor latent en l'aigua, que és l'energia que necessita l'aigua per canviar de fase o d'estat. Hi ha corrents marins superficials, i altres de profunds.

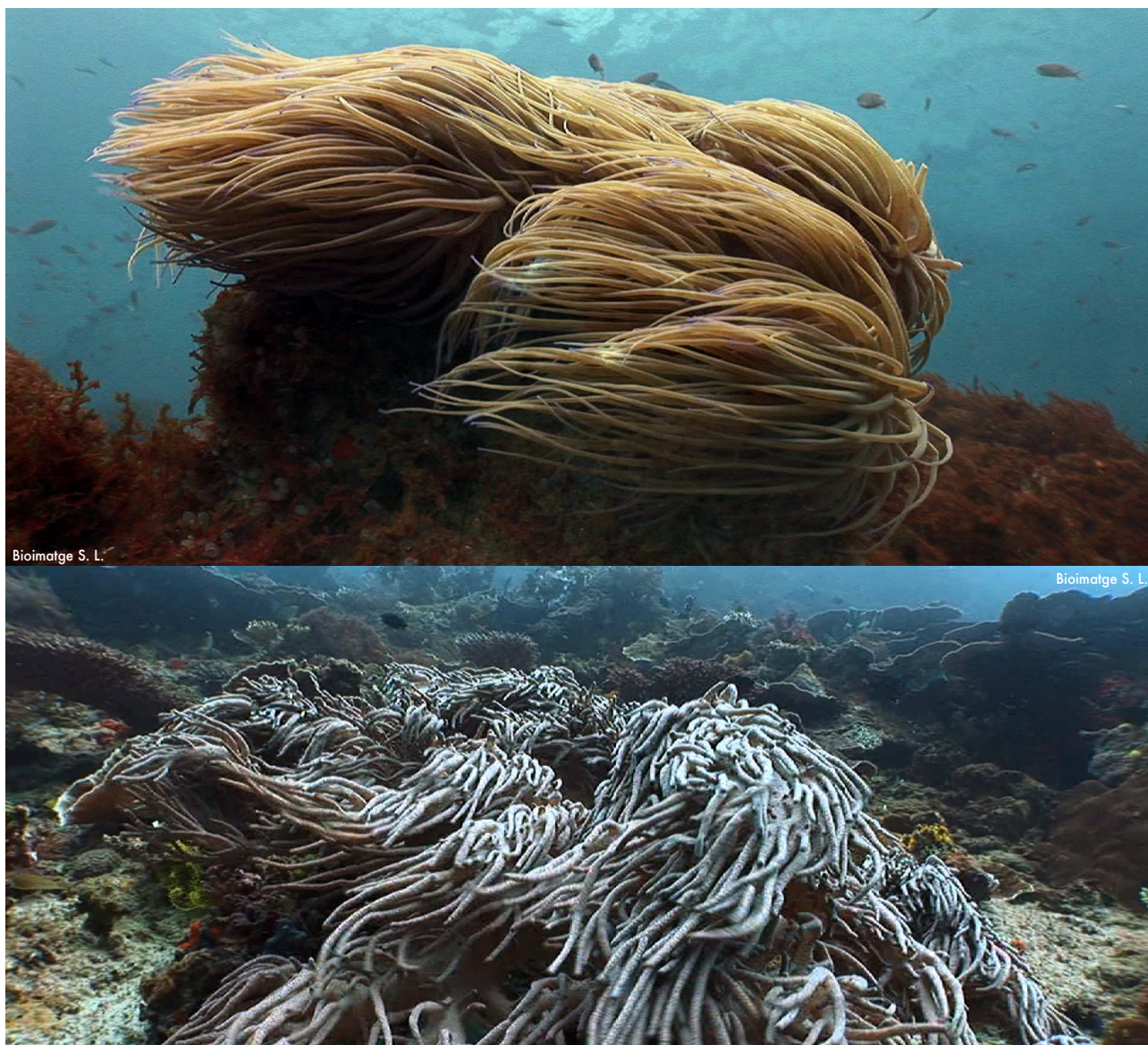


Fig. 5. Els corrents marins són vitals per als organismes que viuen al mar.

Els corrents marins són importants per als organismes que viuen al mar. Perquè, per exemple, molts organismes sèssils filtradors depenen dels corrents marins que els transporten l'aliment que necessiten per viure. Per això, molts d'aquests organismes se situen de manera que les seves estructures filtradores aprofitin millor el corrent predominant i capturin el major nombre de partícules.

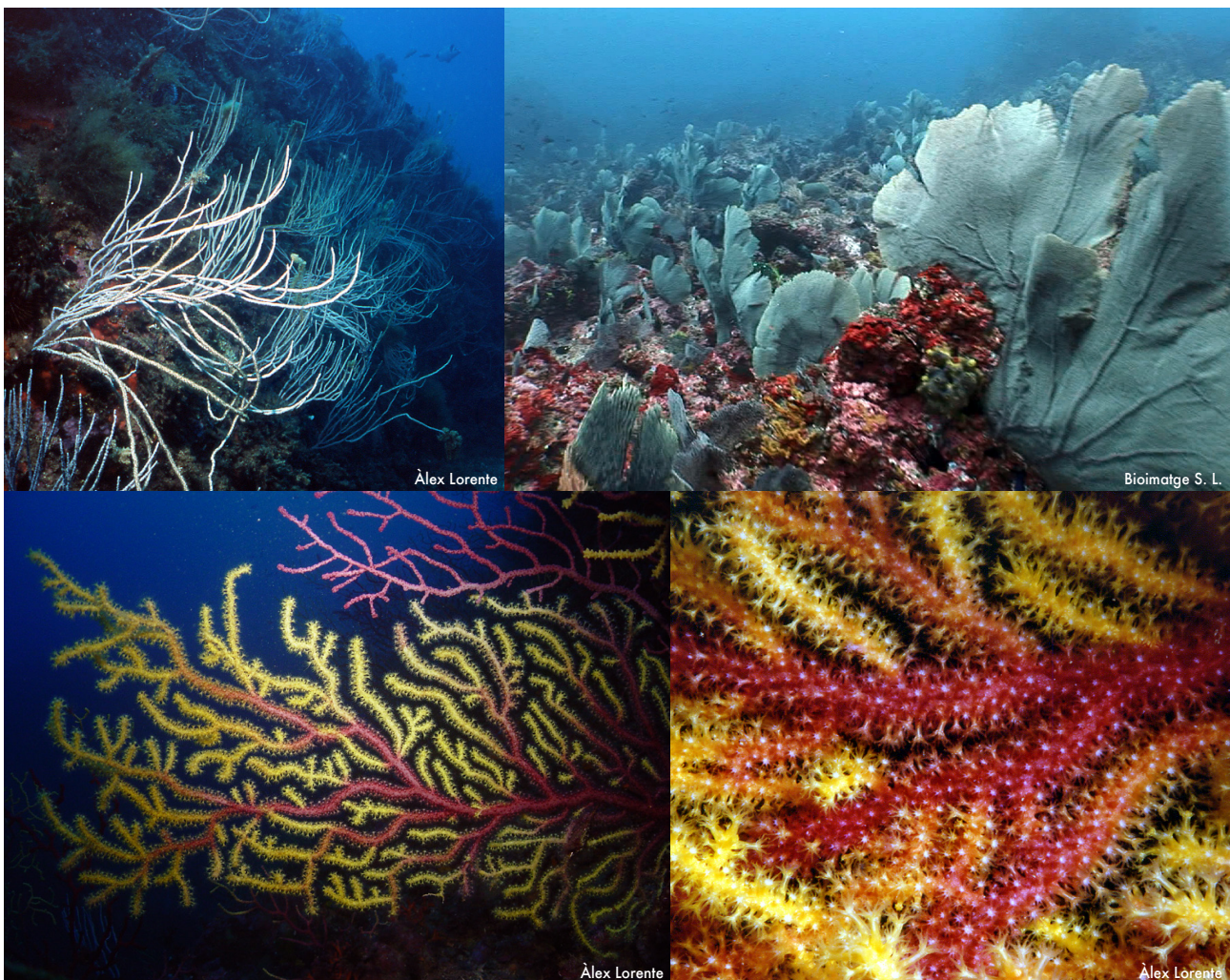
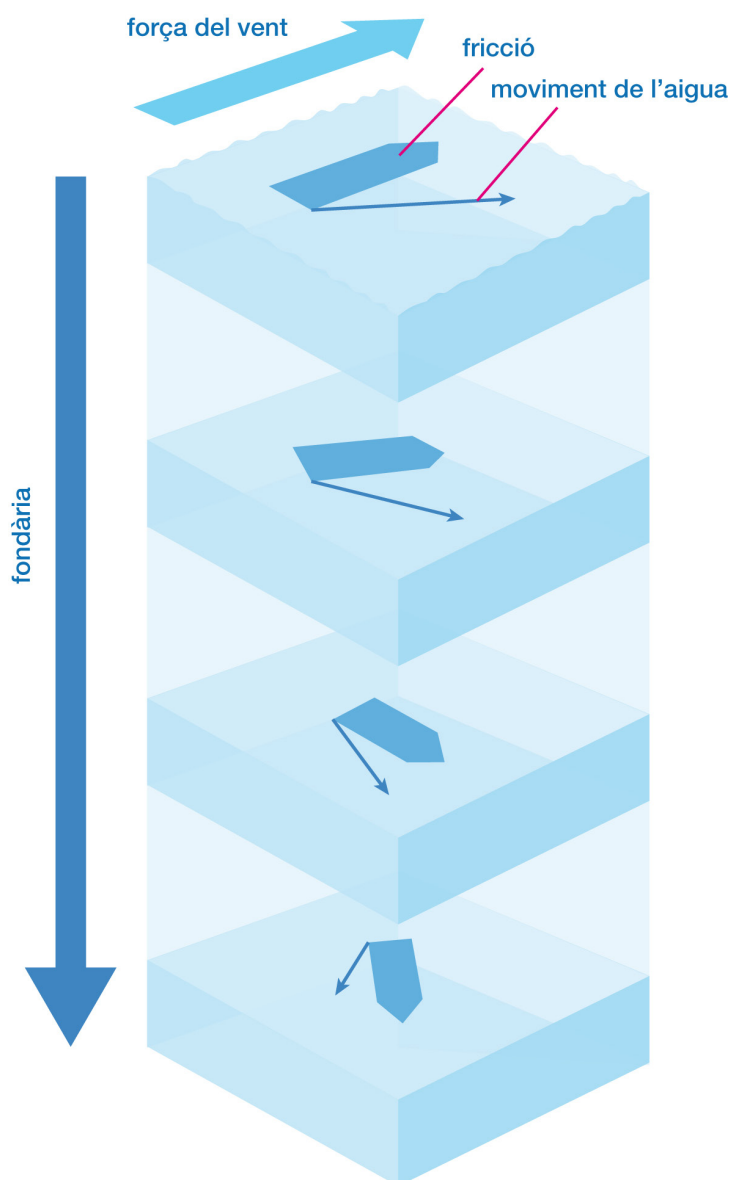


Fig. 6. ↑ Els organismes filtradors sèssils orienten els cossos per aprofitar els corrents. ↓ Les gorgònies estenen els seus pòlips de manera que formin una mena de xarxa per atrapar l'aliment.

Corrents superficials

Els corrents superficials solen estar impulsats pels vents: quan el vent bufa sobre una massa d'aigua, impulsa les aigües més superficials tot creant un corrent, que fluirà no en la direcció del vent, sinó amb cert angle, que va cap a la dreta a l'hemisferi nord, i cap a l'esquerra a l'hemisferi sud. El model que explica l'efecte del vent sobre l'aigua s'anomena *espiral d'Ekman*; i sumat a

L'efecte de Coriolis dels vents –un efecte de la rotació de la Terra sobre els vents que van en direcció nord-sud–, genera l'anomenat *transport d'Ekman*, que prediu que, en general, l'aigua es mourà en una direcció perpendicular a la del vent.



Jordi Corbera

Fig. 7. Esquema de l'espiral d'Ekman.

Si es combina l'efecte del vent dominant i del transport d'Ekman, en resulta un sistema de circulació circular a gran escala. Aquests grans corrents circulars, formats per diversos corrents, s'anomenen *girs oceànics*, i n'hi ha cinc en tot el món.

Les zones on es troben físicament diferents corrents solen ser força productives en termes biològics.

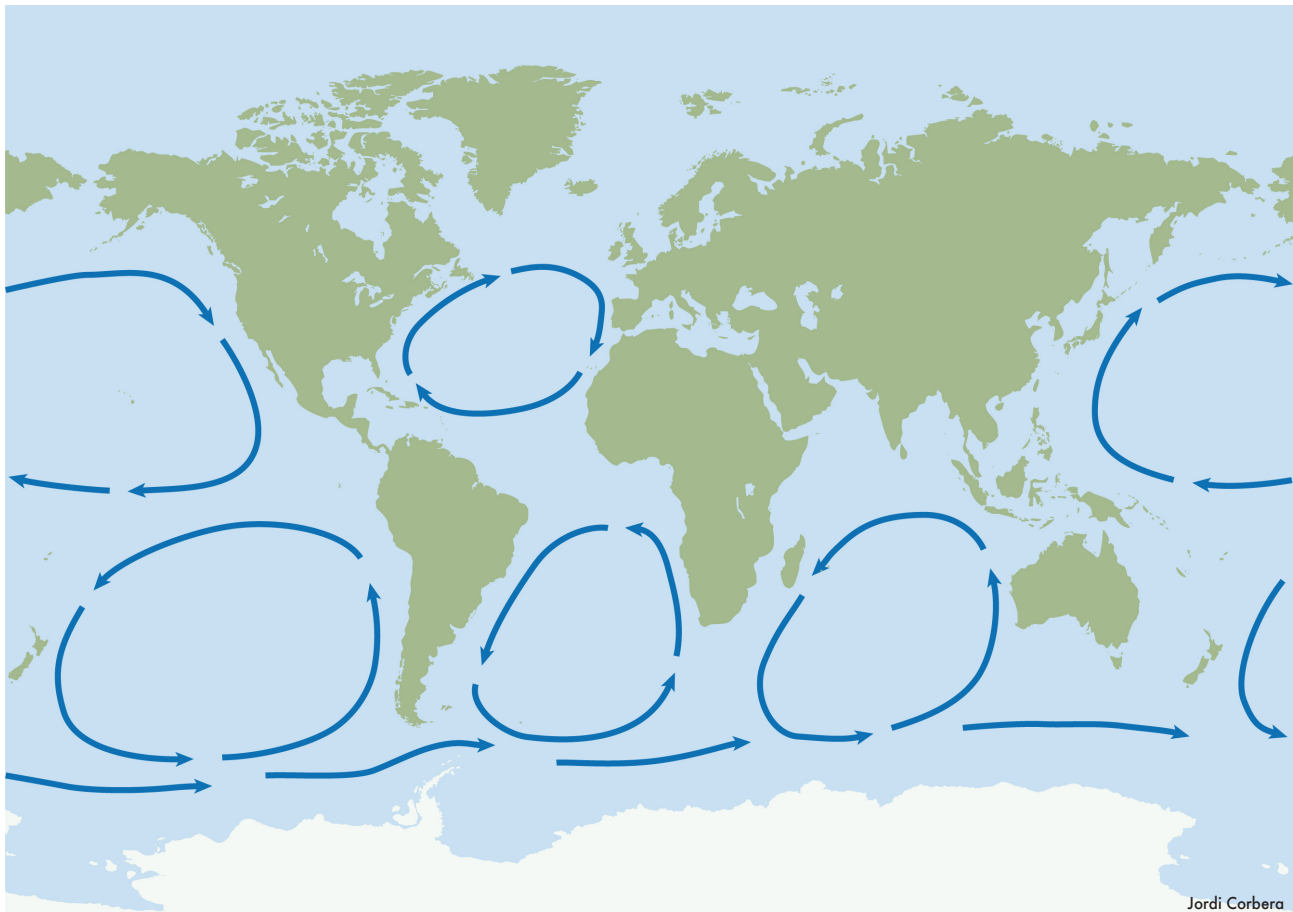


Fig. 8. Hi ha cinc grans giradors oceànics al món.

La circulació profunda: circulació termohalina, aflorament i enfonsament

Tant la salinitat com la temperatura, en afectar la densitat de l'aigua, fan un paper important en la circulació oceànica, o *circulació termohalina*, causada per diferències de densitat entre les diferents masses d'aigua, la calor que reben les aigües superficials, els vents i les avingudes d'aigües continentals. L'aigua més densa s'enfonsa i deixa que el seu lloc a la superfície l'ocupin masses d'aigua menys denses.

Hi ha dos punts de formació d'aigües profundes a l'oceà global, un a prop de Groenlàndia, i l'altre al Mar de Weddell, a l'Antàrtida. Les aigües profundes es creen gràcies a l'increment de densitat de les aigües polars molt fredes i riques en sals provinents de la formació de gel marí, en part. Les aigües fredes i salades que s'han enfonsat a les latituds altes de l'Àrtic es dirigeixen pel fons del mar cap a l'Antàrtida, on es bifurquen fins que tornen a aflorar a l'oceà Índic i a l'oceà

Pacífic. Els vents provoquen corrents superficials que transportaran l'aigua menys densa i més càlida cap a l'Atlàntic Nord, on s'enfonsarà de nou en refredar-se i guanyar salinitat. Aquest patró de circulació a escala global, impulsat per les dues principals zones de formació d'aigües profundes, tarda uns mil anys a completar-se.

Durant el seu recorregut pel planeta, les grans masses d'aigua transporten energia en forma de calor i matèria en forma de sòlids, gasos i substàncies dissoltes. Això fa que, com dèiem, aquesta circulació sigui en bona part responsable de la distribució dels grans climes del nostre planeta. Si aquest patró global de circulació canviés, en un escenari de canvi global, les conseqüències podrien ser molt notòries per a la vida terrestre, perquè probablement canviarien els patrons climàtics actuals.

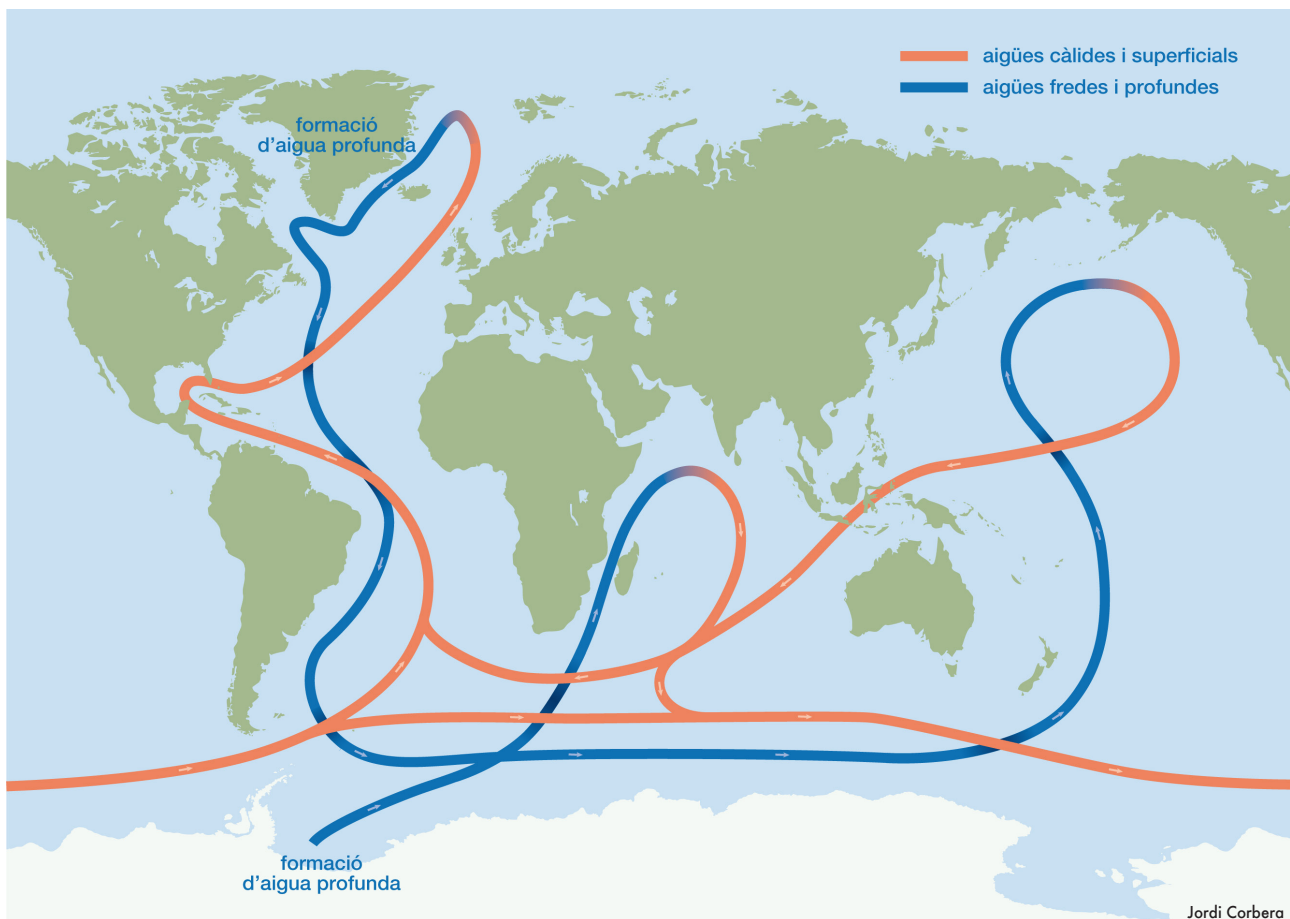


Fig. 9. El cinturó de circulació oceànica mostra els patrons globals de circulació de l'aigua de mar pel planeta; s'observen els punts de formació d'aigües profundes a les regions polars.

Hi ha indrets en què les aigües profundes, fredes i riques en nutrients són transportades cap a la superfície. Aquests corrents, anomenats d'*aflorament*, afavoreixen la proliferació de plàncton i permeten que hi hagi molta producció biològica. Hi ha diversos tipus de corrents d'aflorament. Els corrents d'aflorament són compensats per *corrents d'enfonsament*, que transporten aigua més densa cap el fons.

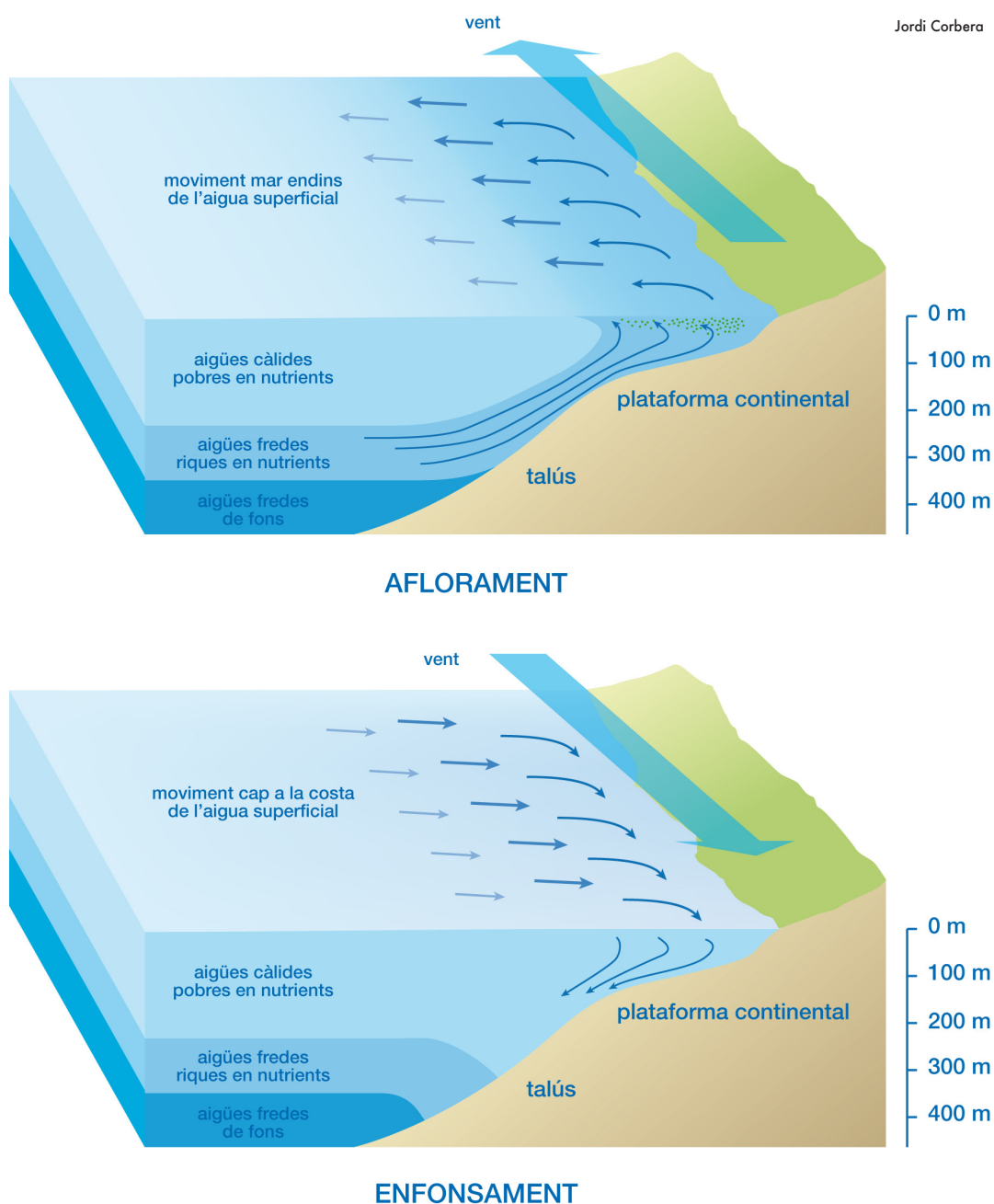
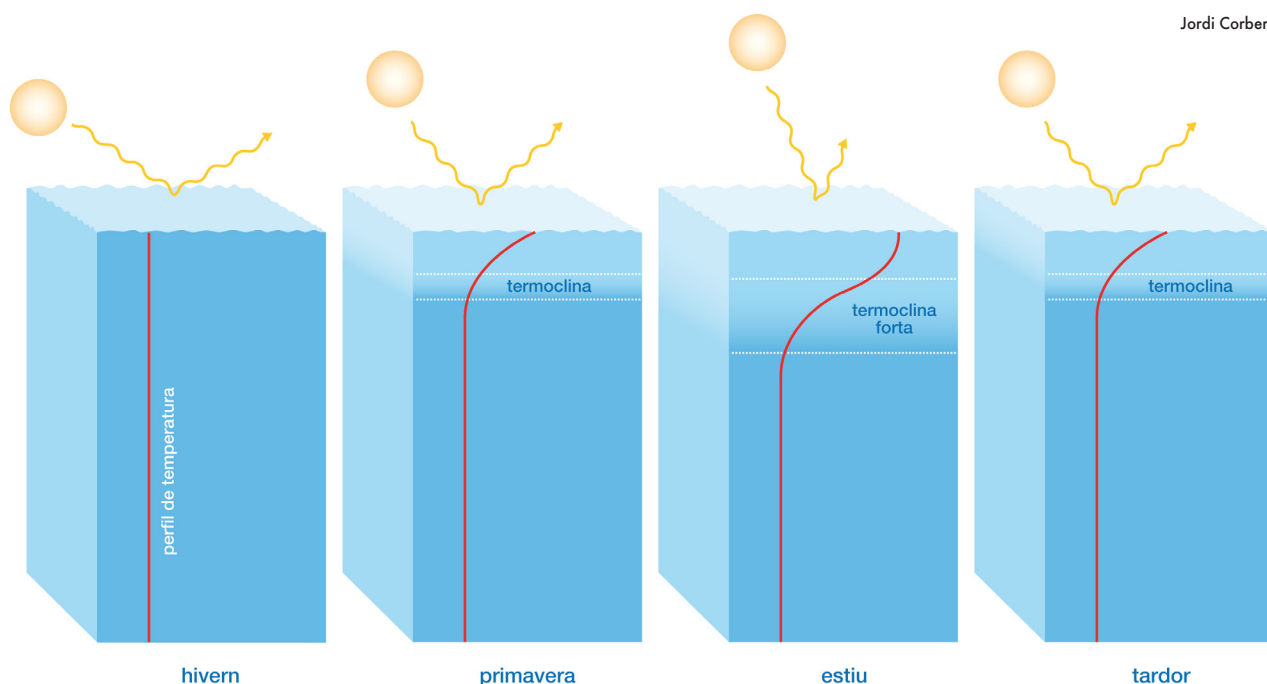


Fig. 10. Representació gràfica dels mecanismes costaners d'aflorament i d'enfonsament.

La termoclina i la temperatura de l'aigua

Els mecanismes explicats anteriorment són possibles, perquè les aigües de diferent densitat no solen barrejar-se si no és gràcies a l'ajuda d'importants fonts d'energia externes, com poden ser grans tempestes. De fet, aquest fenomen el podem observar també en masses d'aigua menors. Per exemple, pot ser que alguna vegada, en banyar-nos a prop de la costa, hàgim experimentat que tenim la part superior del cos dins una massa d'aigua calenta, però en canvi tenim els peus en aigua més freda. Això sol passar perquè, quan el sol escalfa l'aigua superficial, va creant una capa d'aigua més calenta i, si s'escalfa prou ràpidament, crea unes diferències de temperatura considerables respecte les aigües més profundes. Aquesta zona de màxim gradient de temperatura, que separa la massa d'aigua més freda de la més calenta, s'anomena *termoclina*. Quan el vent bufa prou fort o quan hi ha un temporal, les aigües es remouen, la termoclina es trenca i les aigües tornen a barrejar-se. La termoclina també és una frontera per a nombrosos organismes microscòpics, que no poden travessar-la.



Jordi Corbera

Fig. 11. Esquema on es mostra l'estacionalitat de la termoclina en un mar temperat.

En general, la temperatura de l'aigua de mar varia força en les capes superficials, sobretot. Podem trobar aigües des de $-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ fins a $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ aproximadament. En general, però, la temperatura tendeix a disminuir amb la fondària, i sota els 1500 m sol estar entre 2 i $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ pertot arreu. En les regions temperades, els canvis de temperatura de l'aigua superficial són més acusats; en canvi,

en les latituds altes, l'aigua sempre està molt freda. Hi ha organismes adaptats a viure a totes aquestes temperatures. Alguns poden sobreviure en un rang força ampli de temperatures, i els anomenem *euriterms*; altres sobreviuen només en ambients amb temperatures força concretes, i els anomenem *estenoterms*.



Fig. 12. La temperatura de l'aigua de mar pot presentar grans diferències entre els mars càlids, com ↑ el del Carib, i els freds, com ↓ el Mar de Weddell a l'Antàrtida.

El pH de l'aigua de mar

El pH de l'aigua de mar fa un paper molt important sobre la química de l'aigua i, per tant, també sobre l'activitat biològica dels organismes que hi viuen. Per exemple, a causa de les creixents emissions de diòxid de carboni a l'atmosfera, cada vegada n'hi ha més de dissolt a l'aigua, fet que fa que el pH de l'aigua de mar disminueixi.

Aquest increment de l'acidesa té implicacions sobre el mateix cicle del carboni, ja que afavoreix la dissolució de les estructures biològiques fetes de carbonat de calci; per exemple, les cobertes externes dels coralls, d'organismes microscòpics, com les coccolitoforals, o fins i tot els esquelets dels eriçons de mar.

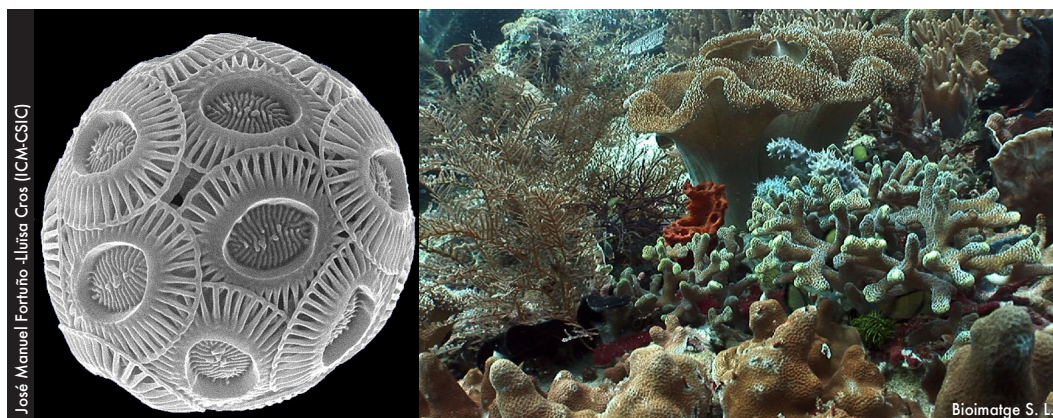


Fig. 13. Tant algunes estructures d'organismes microscòpics com ← les coccolitoforals, o d'organismes macroscòpics com → els coralls, són fetes de carbonat de calci.

Intercanvi de gasos entre l'atmosfera i l'oceà

L'aigua de mar, a més a més d'interactuar amb la litosfera, també interactua amb l'atmosfera. En la superfície del mar hi ha un intercanvi constant de gasos entre l'aire i l'aigua, que tendeix a l'equilibri. Alguns dels gasos que s'intercanvien són de vital importància per a l'ecosistema global. Per exemple, per realitzar la fotosíntesi oxigènica, els fotòtrofs marins, entre ells el fitoplàncton, consumeixen diòxid de carboni dissolt a l'aigua de mar. Aquesta despesa és compensada per l'entrada de diòxid de carboni atmosfèric al mar. En canvi, el fitoplàncton desprèn oxigen com a resultat de la fotosíntesi, i bona part d'aquest oxigen passa a l'atmosfera.

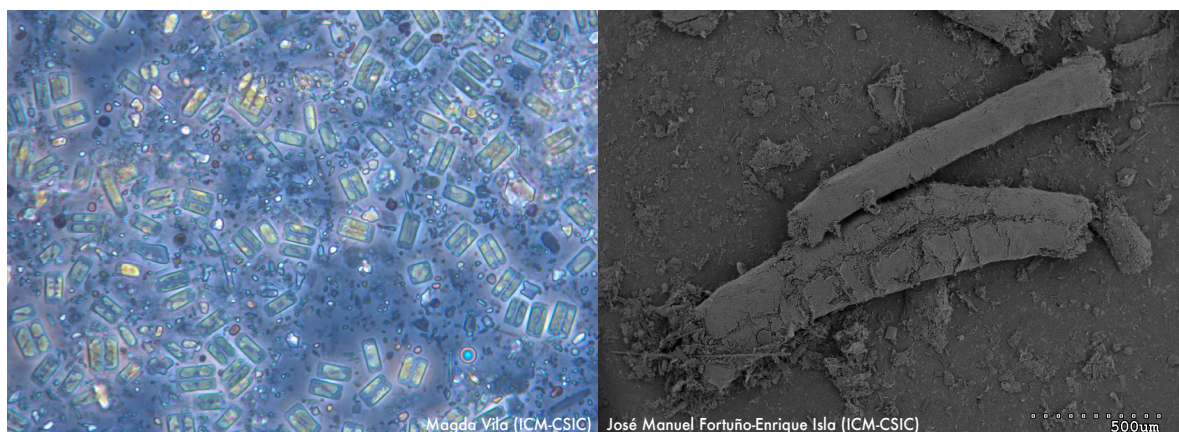


Fig. 14. ← El fitoplàncton actua com a segrestador de part del carboni atmosfèric, així com → els paquets fecals –imatge obtinguda amb un microscopi electrònic– d'organismes zooplànctònics.

Es calcula que el fitoplàncton dels oceans produeix aproximadament un 50 % de l'oxigen atmosfèric. Aquest procés d'intercanvi de gasos resulta de vital importància, perquè ajuda a treure

diòxid de carboni de l'atmosfera; el fitoplàncton actua com a segrestador del carboni atmosfèric, permet que sigui incorporat en altres organismes a través de la cadena tròfica, i que una bona fracció acabi formant part, amb el temps, dels sediments del fons del mar. Aquest procés s'ha anomenat *la bomba biològica*.

Altres substàncies que passen a l'atmosfera inclouen compostos de sofre que actuen com a nuclis de condensació de núvols. Això vol dir que afavoreixen la formació de núvols i, per tant, ajuden també a refredar el planeta, ja que aquests núvols reflecteixen la llum del sol de nou cap enfora.

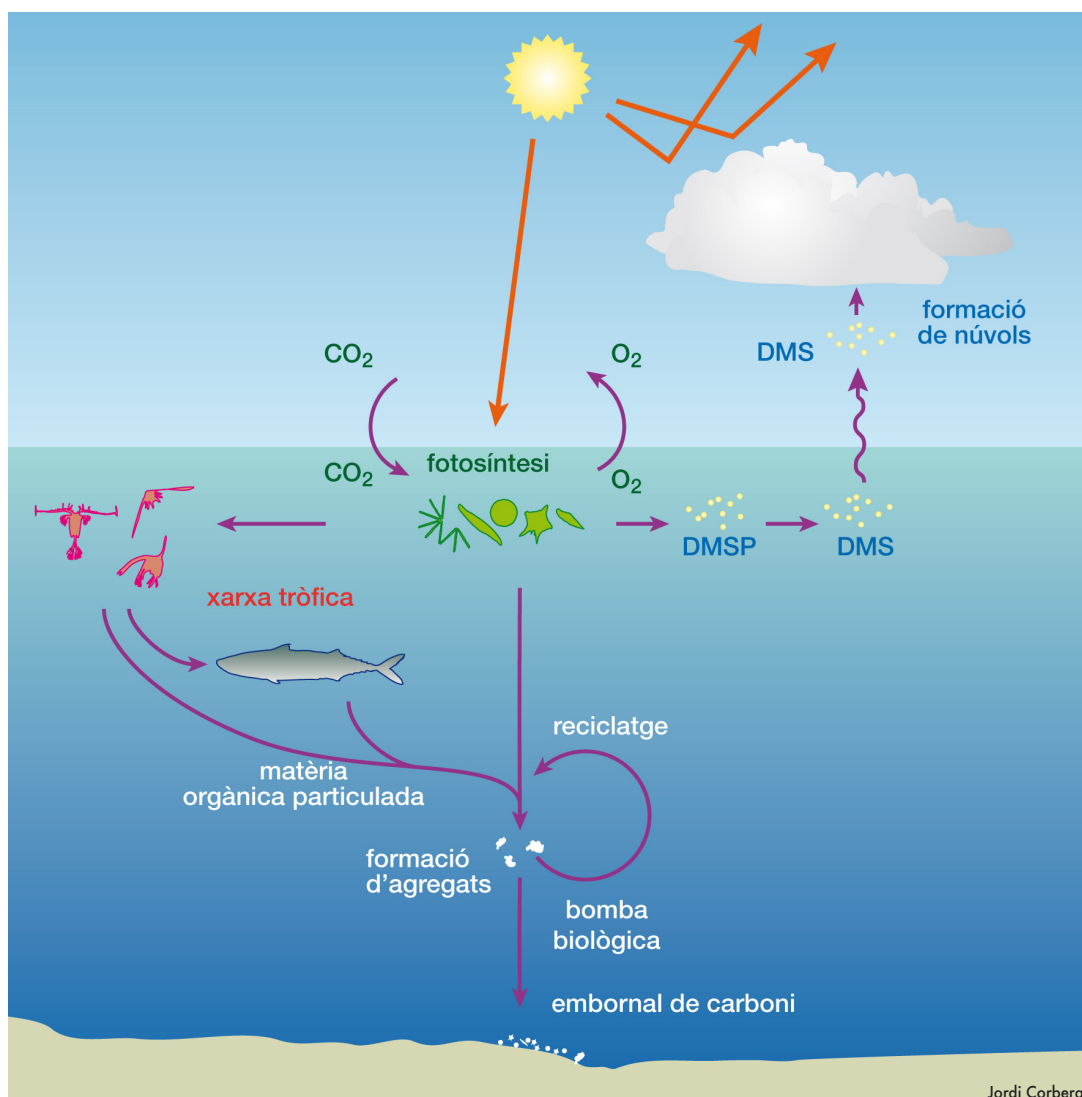


Fig. 15. Esquema on es mostra el rol del fitoplàncton en processos ecològics cabdals, que posen de manifest les relacions entre l'atmosfera i la hidrosfera: la producció d'oxigen, la bomba biològica i la formació de núvols.

Les onades

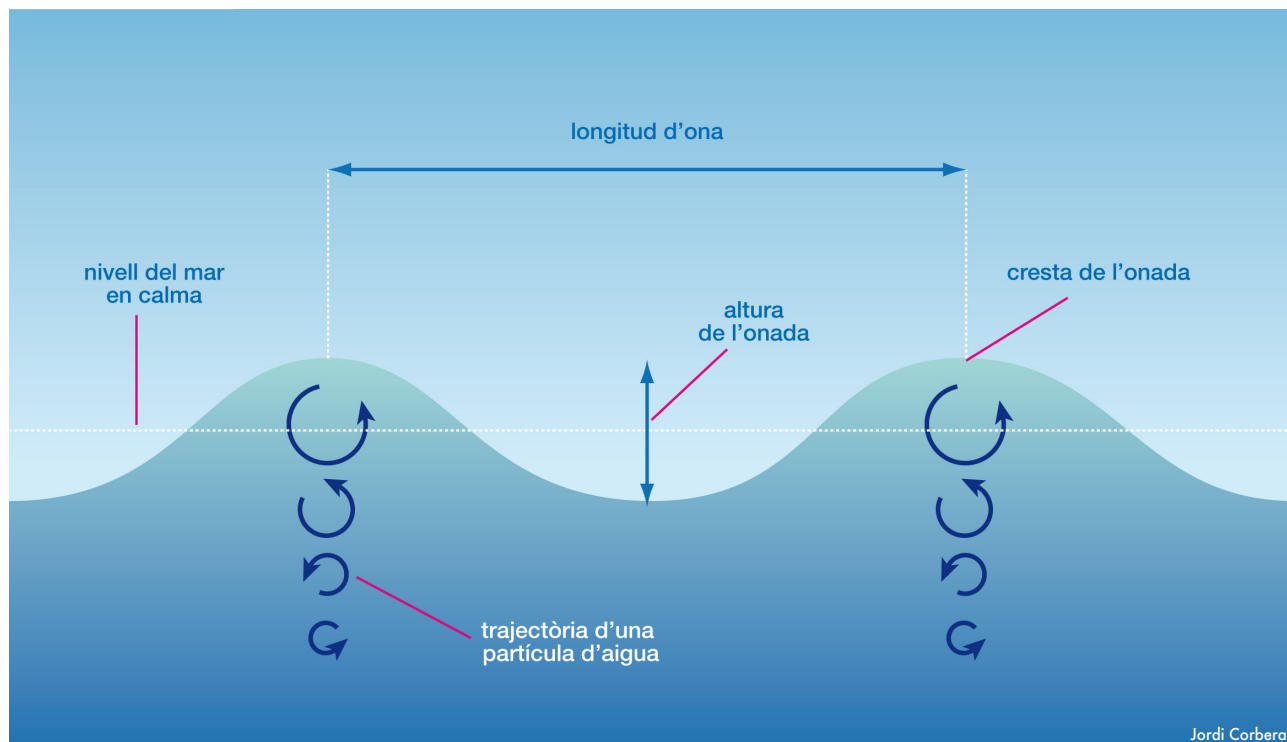
L'acció del vent sobre la superfície de l'aigua sol originar onades. Les onades poden tenir altures molt variables i ser més o menys freqüents, segons la velocitat, la durada i la superfície sobre la qual actui el vent. Les onades transporten energia d'un indret a l'altre. Quan arriben a la costa, la seva dinàmica interactua amb el fons del mar, que les va frenant i va fent que les crestes s'alcin fins que finalment trenquen. La seva acció sobre la costa és contínua: van erosionant les roques i, per tant, remodelen constantment el litoral. Segurament, si escoltem la gent de mar, sovint sentirem que parlen de diferents tipus d'onades que i donen al mar noms específics com *mar arrissada*, *marejol*, *maror*, *forta maror*, *maregassa* o *mar grossa*, *mar brava*, *mar de fons*.



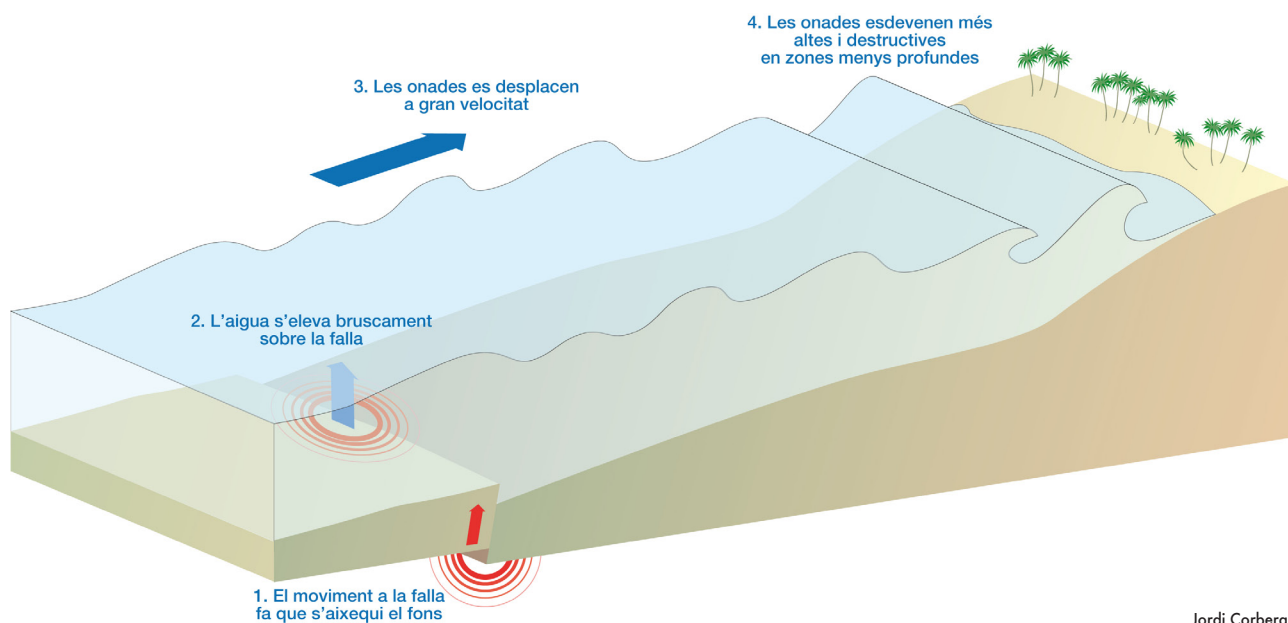
Fig. 16. El mateix paisatge amb ← mar plana i → mar arrissada.

També es poden formar onades per moviments de l'escorça terrestre associats a la tectònica de plaques. Per això, quan hi ha terratrèmols o sorgeixen volcans al fons del mar, per exemple, es creen onades a la superfície. Aquestes onades, però, poden transportar molta energia perquè mouen una gran quantitat d'aigua: aleshores les anomenem *tsunamis*, i tenen un gran poder devastador. També hi ha onades anomenades *internes*, que viatgen per sota la superfície del mar.

Per estudiar les onades, en determinem certes característiques, com l'amplitud –altura– i el període –temps que transcorre entre dues crestes d'onada successives–. Així, les podem classificar.



Jordi Corbera



Jordi Corbera

Fig. 17. ↑ Parts d'una onada. ↓ Esquema que mostra la formació d'un tsunami.

Les mareas

Les mareas s'originen gràcies a les forces d'atracció de les masses de la Lluna i del Sol sobre la Terra. La part líquida del nostre planeta respon a aquestes forces amb oscil·lacions del nivell del mar. Les oscil·lacions que es repeteixen dues vegades en períodes de poc més de 24 hores, es deuen a la influència de la Lluna sobre la Terra. Les variacions que s'observen mensualment en les mareas responen a la influència del Sol i la Lluna. Es produeixen pertot arreu, tot i que es noten més en les zones costaneres. Les mareas creen corrents específics anomenats *corrents de marea* que, segons la topografia de la costa i del fons marí poden ser molt potents i perillosos. Aquestes variacions del nivell del mar poden ser poc o molt notables; les més notables deixen part del litoral emergit durant moltes hores —marea baixa—, tot inundant-lo després —marea alta—, i així cíclicament. Per tant, les espècies que viuen en aquestes zones, anomenades *intermareals*, han d'estar adaptades a períodes de dessecació seguits de períodes d'immersió.



Carlos Domínguez (ICM-CSIC)

Fig. 18. La zona intermareal és la més afectada per les mareas: les oscil·lacions del nivell del mar fan que part del litoral quedi emergit durant hores —marea baixa— i inundat hores després —marea alta—, de manera cíclica.