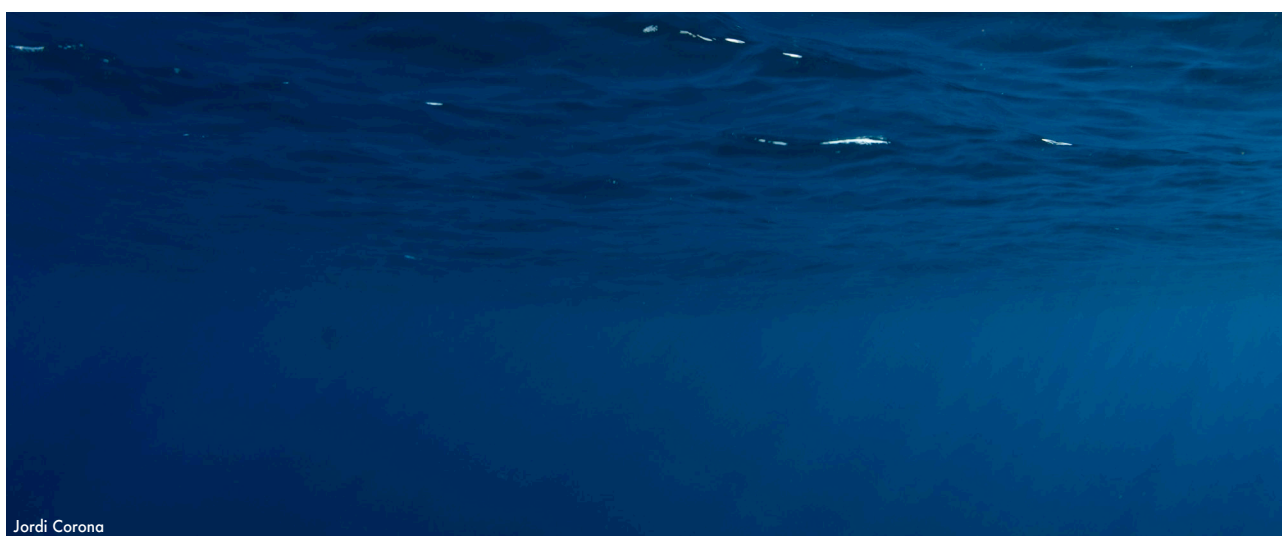


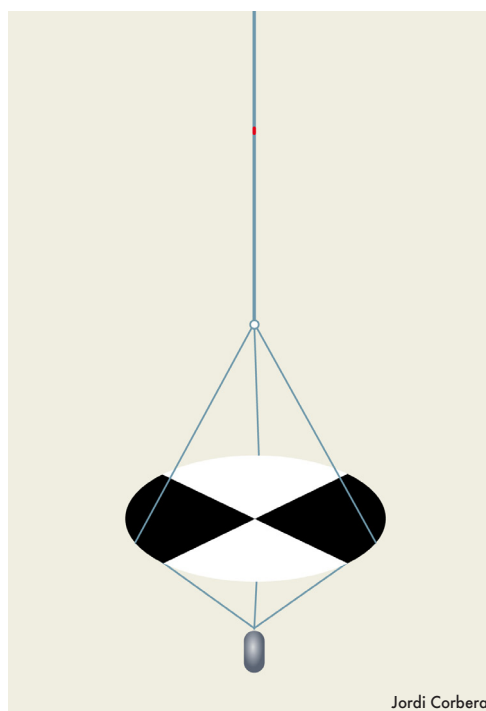
La llum al mar

La llum del sol penetra dins el mar i és absorbida per l'aigua. Depenent de la terbolesa de l'aigua —donada per la quantitat de partícules que conté—, serà absorbida més o menys ràpidament: com més tèrbola és l'aigua, més ràpidament s'absorbeix la llum. Les acumulacions de fitoplàncton i de zooplàncton també tenen un efecte de reducció de la zona il·luminada, ja que ells mateixos constitueixen partícules que absorbeixen la llum.



Jordi Corona

Una manera de mesurar la fondària d'aquesta zona il·luminada o fòtica és mitjançant un disc de Secchi. Es tracta d'una senzilla manera de saber fins a on arriba la llum en una massa d'aigua: se submergeix un disc de color blanc, d'uns 30 cm de diàmetre com a mínim, enganxat a un pes i a una corda on hi ha marcat cada metre, fins que el disc ja no es pot veure; aleshores, es recull el disc i es van comptant les marques corresponents a cada metre de la corda, que donaran la fondària aproximada de la zona il·luminada.



Jordi Corbera

Fig. 1. El disc de Secchi permet estimar la fondària de la zona fòtica.

Penetració de la llum en el mar

La llum solar conté una barreja de longituds d'ona, des de les llargues longituds d'ona del vermell fins a les curtes del color violeta. Les diferents longituds d'ona de la llum solar són absorbides a diferents fondàries, en l'oceà. Per exemple, gairebé tota la llum vermella s'absorbeix en els primers 10 m de fondària, i el taronja i el groc no solen arribar als 30 m. Això vol dir que, per exemple, els organismes vermells semblen negres per sota dels 10 m. La llum verda pot penetrar fins a més de 50 m, aproximadament. La llum blava, fins a uns 200 m. El fitoplàncton, com que conté clorofil·la, absorbeix les parts blava i vermella de l'espectre lluminós, i en reflecteix la llum verda.

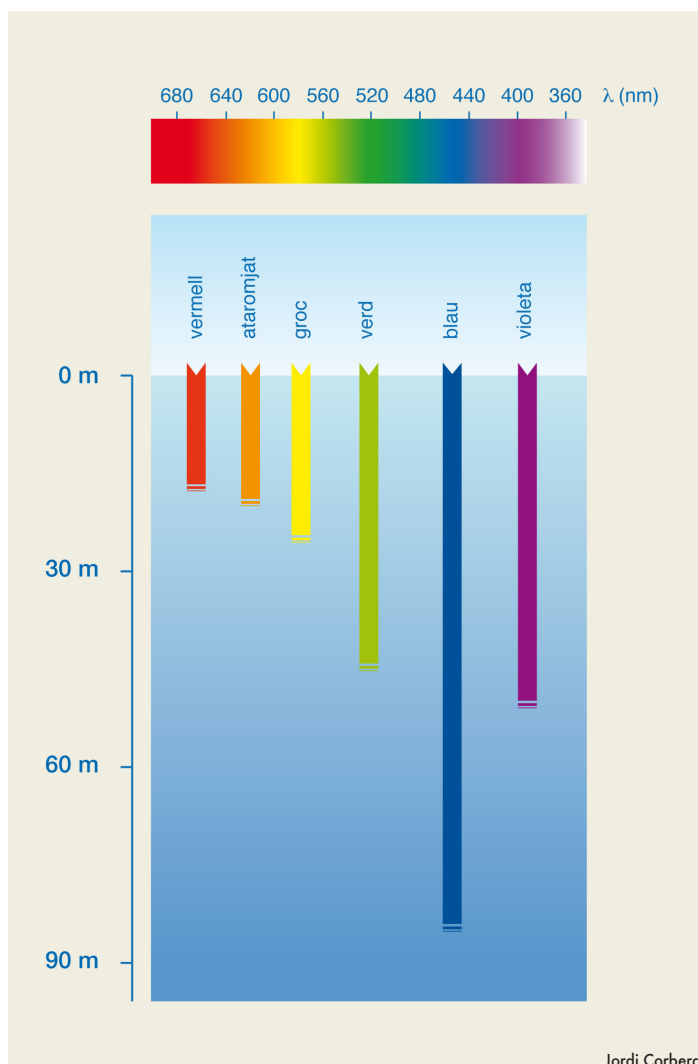


Fig. 2. Esquema que mostra l'extinció de diferents tipus de llum al mar.

Jordi Corbera

La zona fòtica

La capa d'aigua compresa entre la superfície del mar i la fondària fins on arriba la llum s'anomena *zona fòtica*; és a dir, és la zona il·luminada del mar. Podem dir, en general, que la capa fòtica sol considerar-se la zona que hi ha entre la superfície de l'aigua i aproximadament els 200 m de fondària, tot i que de vegades serà menor i de vegades serà major. Només l'1 % de la llum que incideix sobre la superfície del mar arriba als 200 m de fondària.

Com que els organismes fotosintètics necessiten llum per viure, s'acumulen en les capes il·luminades i més càlides dels mars i oceans, tot fent, per tant, que la major part de la producció primària marina es doni dins d'aquesta zona fòtica. És a dir, la llum condiona el desenvolupa-

ment i la distribució dels organismes fotosintètics en el mar. Com que el fitoplàncton és la base de la majoria de les cadenes tròfiques marines, podem dir que la zona fòtica sosté la major part de la vida marina. El fitoplàncton roman en aquesta capa tan superficial gràcies a diversos mecanismes que li permeten augmentar la flotabilitat.

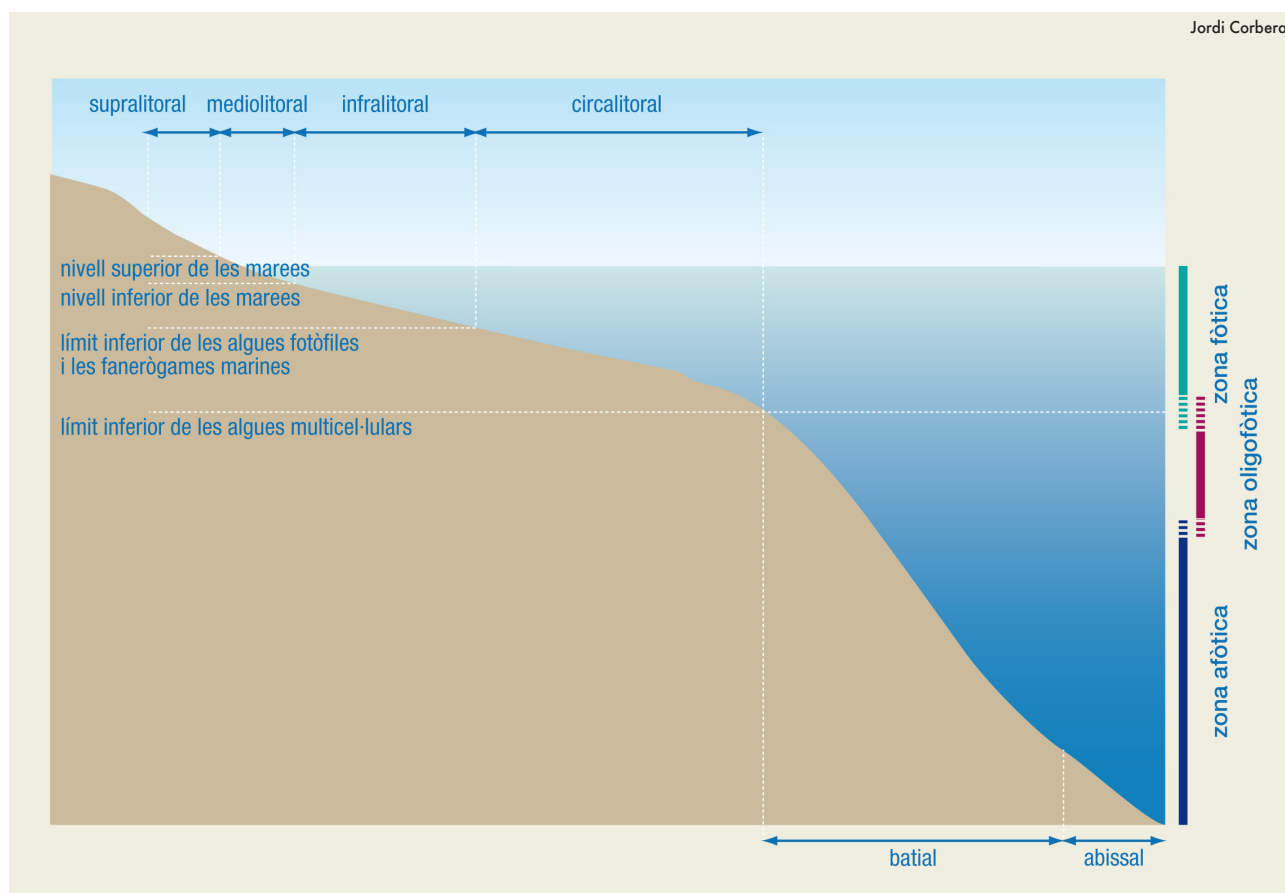


Fig. 3. Esquema de la subdivisió del mar en diferents zones segons la llum que reben.

Hi ha una zona més profunda, anomenada *oligofòtica*, que comprèn dels 200 als 1000 m de fondària, aproximadament, no rep prou llum perquè els organismes puguin fer la fotosíntesi, però en canvi, sí que en rep prou perquè la visió encara sigui el sistema d'orientació més emprat. En aquesta zona, doncs, els animals veuen i són vistos i, per tant, trobem nombroses relacions de depredació i de fugida dels predadors. Entre les estratègies que adopten molts dels organismes per no ser vistos, hi ha la de ser transparents, o bé reflectants, o bé ser molt prims. En canvi, per veure-hi millor, nombrosos animals presenten ulls grans que els permeten la visió en aquesta zona menys il·luminada. Molts dels animals que viuen en aquesta zona pugen cap a la zona fòtica quan es fa de nit. Això implica la migració diària d'aproximadament el 30 % de la biomassa marina –mi-

lions de tones d'animals!— entre aquestes dues zones. Els petits organismes planctònics recorren només uns 20 m, però els animals més grossos, seguint les seves fonts d'aliment, poden pujar i baixar uns 600 m diàriament en la columna d'aigua.

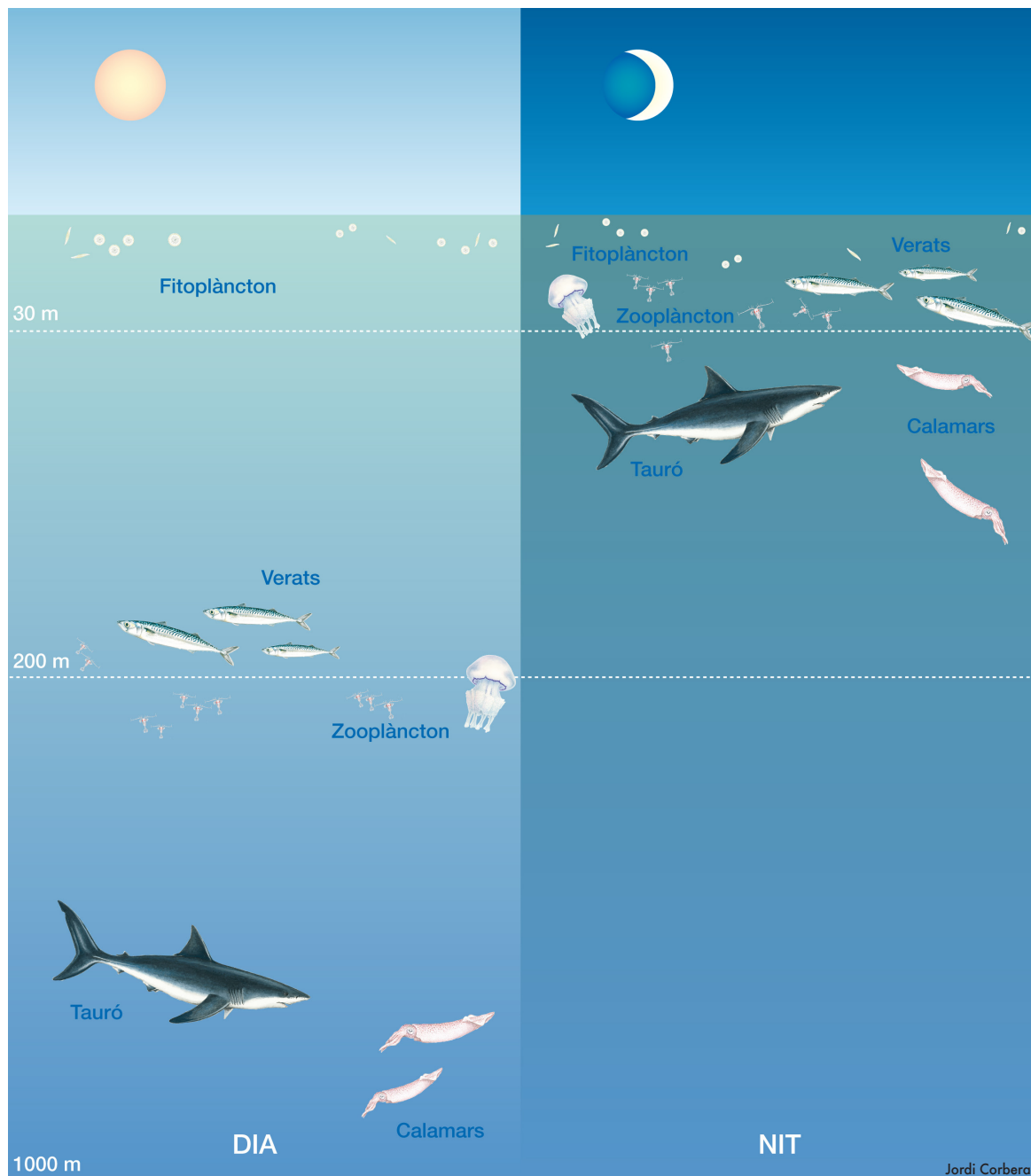


Fig. 4. Cada dia nombrosos organismes realitzen migracions verticals; alguns es desplacen cap a la superfície des de grans i fosques profunditats i tornen posteriorment a aquestes.

La zona afòtica

El fet que la zona fòtica sigui només una petita capa superficial, implica que la major part dels oceans es troba en foscor perpètua. La *zona afòtica* comprèn les fondàries majors de 1000 m. Tant a grans fondàries com en indrets no il·luminats, com algunes coves, els productors primaris que podem trobar no són fotosintètics, sinó quimiosintètics.

En els ambients de penombra, però, la capacitat dels organismes per generar llum pot tenir un paper important com a mecanisme d'atracció de preses o, tot el contrari, de distracció dels predadors. Igualment, en aquests ambients els organismes presenten diferents mecanismes d'orientació, que no són visuals. En els ambients profunds, la pressió és alta i l'aliment escasseja. Els animals que hi viuen estan adaptats a aquestes condicions: tenen els cossos plens de líquid, fet que evita que es comprimeixin per efecte de la pressió; els peixos no solen tenir bufeta natatòria funcional, es desplacen poc i així no malbaraten energia en aquest ambient amb tan poc aliment; a més a més, n'hi ha molts que tenen boques grans amb dents potents, o tenen mecanismes d'atracció –molts usen mecanismes de bioluminescència– i de detecció de preses.

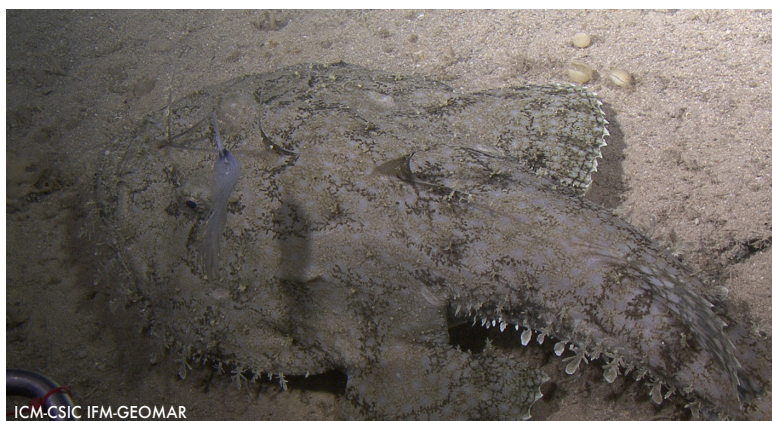


Fig. 5. Els raps (*Lophius* sp.) poden viure en zones profundes de la plataforma, on la llum no arriba; tenen una boca súper grossa, i un cimbell amb el qual atreuen les preses.

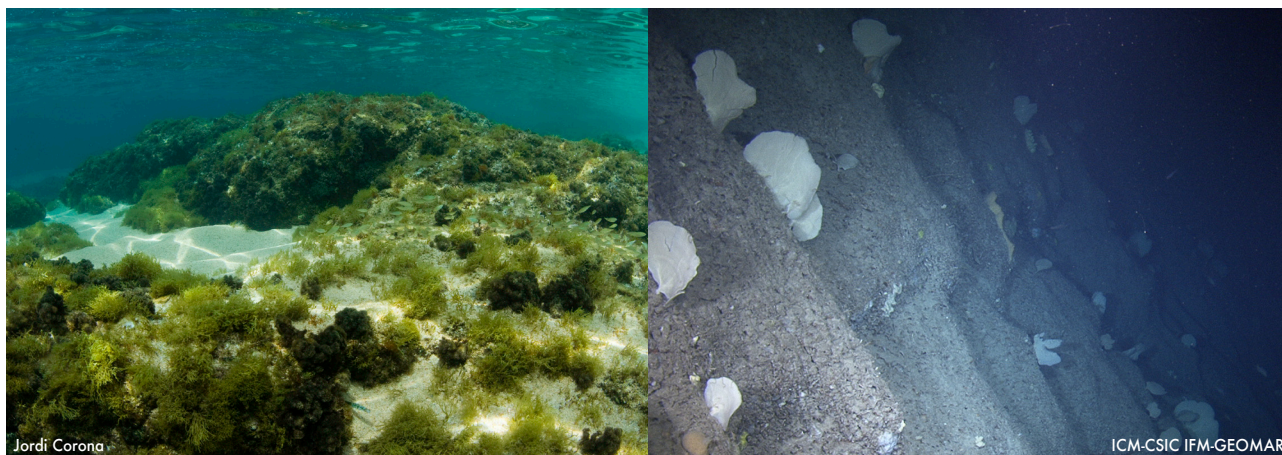


Fig. 6. ← En els llocs ben il·luminats es desenvolupen nombrosos organismes fotòfils, com les algues. → A la zona afòtica regna la foscor (la llum ambiental de la fotografia la proporcionen els focus del vehicle submergit).

Tot i que a les grans fondàries només hi arriba aproximadament un 5 % o menys de la producció primària produïda a la superfície, en aquestes zones hi ha ambients amb productors primaris quimiosintètics, com els que habiten els ambients propers a les fonts hidrotermals submarines.

Pigments que capten la llum: fotosíntesi i visió

Existeixen diversos tipus de pigments sensibles a la llum, entre els quals trobem les clorofil·les i les rodopsines.

Els organismes que realitzen la fotosíntesi compten amb diferents pigments que capten la llum dins les seves cèl·lules o dins d'òrgans cel·lulars especialitzats. Aquests pigments capten la radiació de certa longitud d'ona i això permet als organismes fotosintetitzadors sintetitzar carbohidrats a partir de CO_2 i aigua, i expulsar O_2 . Entre els pigments fotosintètics trobem diferents tipus de clorofil·la i bacterioclorigil·la, així com altres pigments com les xantofil·les, les ficobilines i les ficocianines. Alguns d'aquests pigments tenen alhora un efecte protector de la radiació solar, ja que certs tipus de radiació o un excés de radiació poden ser mortals per a nombrosos organismes fotosintètics marins.

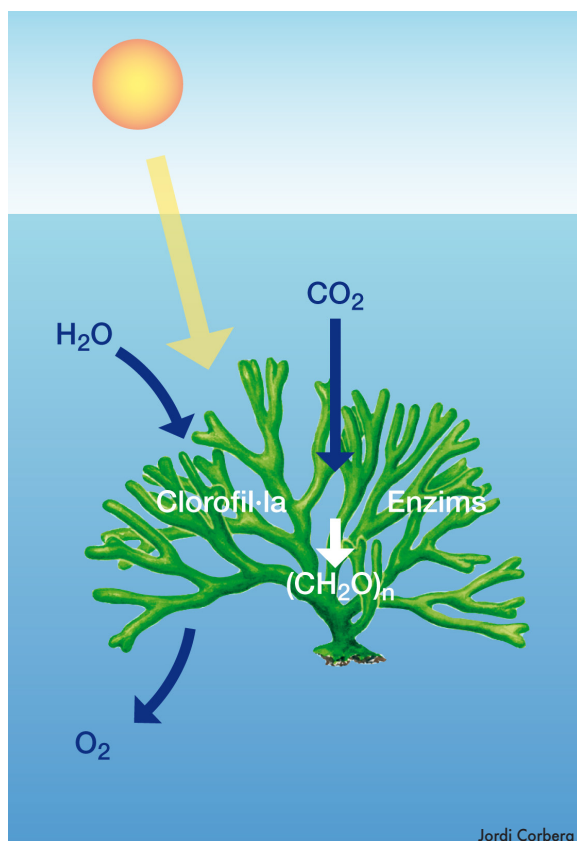


Fig. 7. ← Representació esquemàtica de la fotosíntesi per part d'una alga. ↑ El color d'aquestes algues verdes el dona la predominança de la clorofil·la entre els pigments fotosintètics.

La rodopsina és un pigment visual que es troba en els bastonets dels ulls dels vertebrats. És un pigment fotoreceptor, responsable de la visió en condicions de baixa lluminositat. Hi ha altres tipus de pigments visuals, alguns dels quals es troben en els cons dels ulls dels vertebrats. En funció del tipus d'ull o de sistema fotoreceptor, els animals adopten diferents tipus de visió i presenten diferent sensibilitat a la llum.

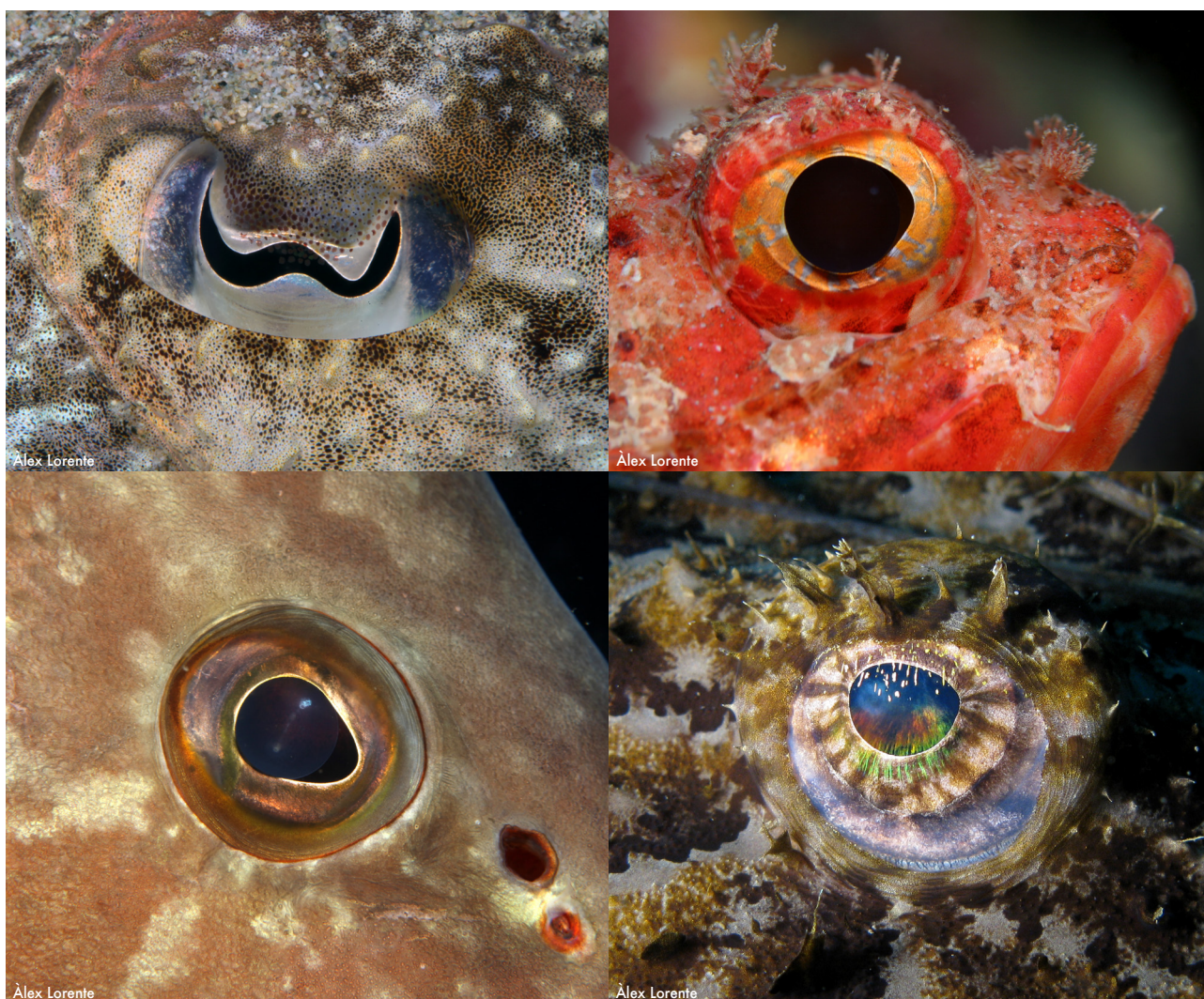


Fig. 8. ↑ Ull complex d'invertebrat (sèpia; *esq.*) i ulls de vertebrats (peixos: d'escòrpora (*dta.*), ↓ de mero (*esq.*) i de rap (*dta.*).

Els *ommatidis* estan formats per cèl·lules fotoreceptores que poden discernir entre la presència i la falta de llum, i de vegades fins i tot poden distingir els colors. Un conjunt d'*ommatidis* forma els ulls compostos d'alguns invertebrats, com els crustacis.

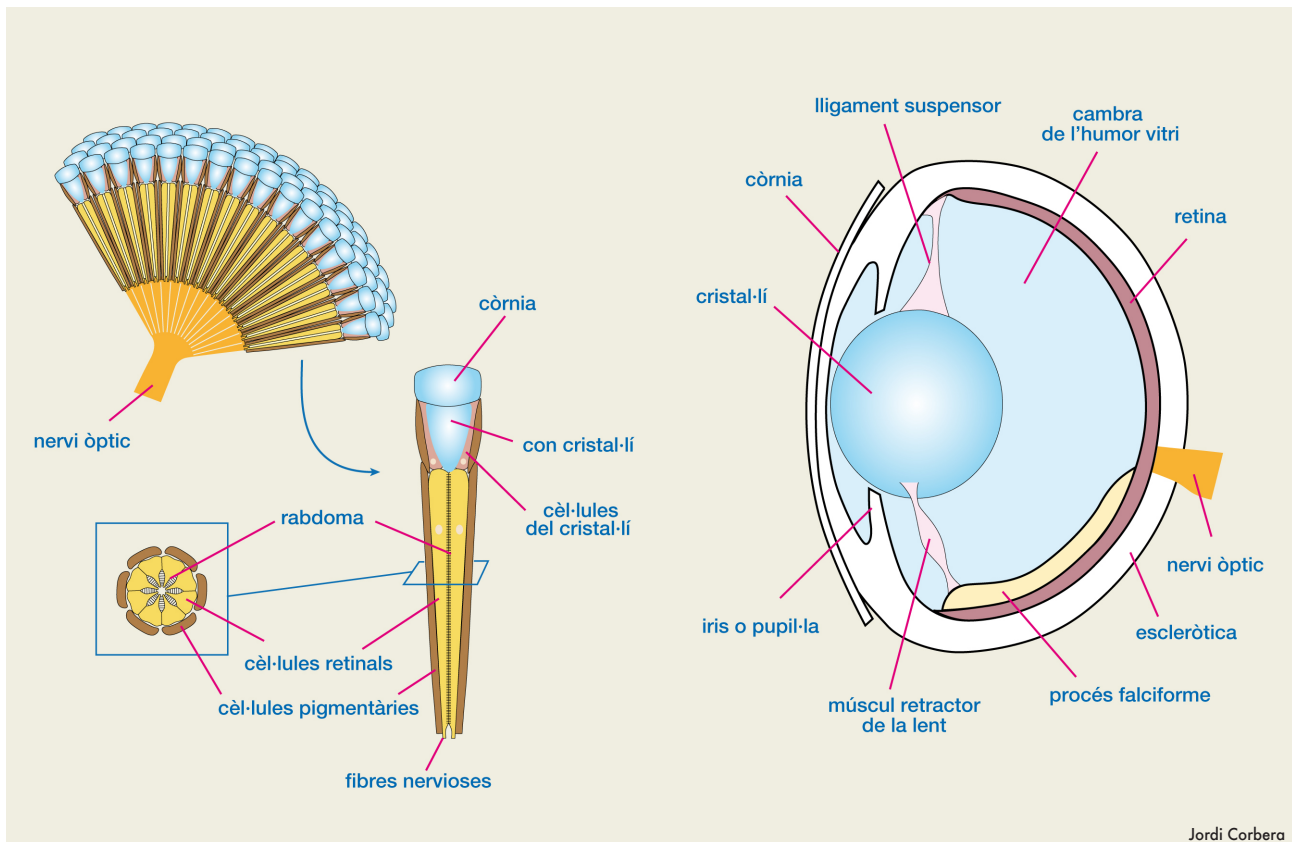


Fig. 9. Els ulls compostos estan formats per diferents ommatidis (*esq.*), i són ben diferents dels ulls dels vertebrats (*dra.*).

Els *ocels* o ulls simples són petites estructures fotoreceptores que funcionen com a òrgans de la visió en nombrosos animals, com els cnidaris.

Els ocells i altres estructures fotoreceptores permeten els animals que en tenen tenir reaccions a la llum. Quan aquestes reaccions provoquen una fugida de la llum, com en el cas dels ofiuroïdeus, per exemple, anomenem aquests animals *esciòfils*; en el cas contrari, d'atracció cap a la llum, parlem d'animals *fotòfils*. Els moviments dels animals que tenen a veure amb la seva reacció a la llum s'anomenen de *fotoci-nesi*.

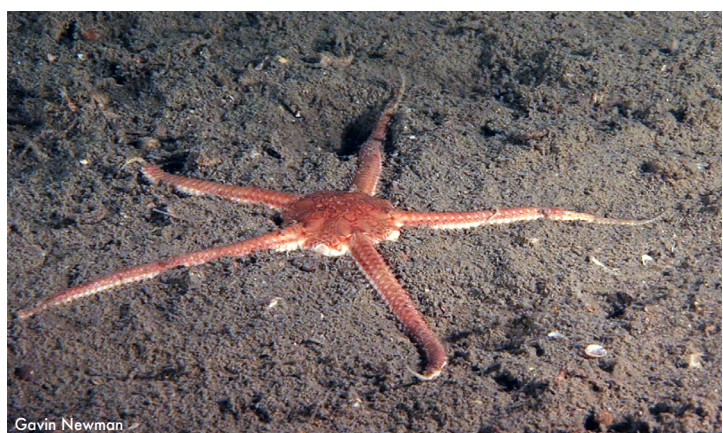


Fig. 10. Els ofiuroïdeus són organismes esciòfils, és a dir, fugen de la llum.

En la zona fòtica, nombrosos organismes es basen en la visió i, per tant, en la captació de llum, per detectar les seves preses o els seus predadors. Això fa que molts hagin adoptat estratègies per passar més desapercebuts, tot mimetitzant-se amb el medi en el qual viuen.

La **bacteriorodopsina** és una proteïna que capta la llum i que és emprada pels arqueus.



Fig. 11. El mimetisme és una bona estratègia per passar desapercebut davant dels predadors.

Ritmes circadians o nictemerals

A causa de la rotació de la Terra, la intensitat de la llum que arriba a la superfície pateix una variació diària, a la qual els organismes han adaptat els seus ritmes biològics o circadians. Els *ritmes circadians* són oscil·lacions de les variables biològiques a intervals regulars de temps, que probablement presenten tots els tipus d'organismes, i que solen estar associats a canvis ambientals rítmics. Aquests ritmes poden ser modificats si les condicions ambientals varien, encara que existeix un ritme bàsic intern dels organismes.

Entre els ritmes circadians més coneguts hi ha els cicles de llum. En els organismes que viuen en zones il·luminades, aquest ritme és molt patent: trobem animals que són més diürns; d'altres més nocturns; i altres que varien la posició dins la columna d'aigua en funció de les hores del

dia. En els vertebrats, per exemple, un pigment ganglionar anomenat *melanopsina* contribueix a aportar informació al cervell sobre els cicles de llum i foscor. D'aquesta manera, les variacions diàries de llum influencien la fisiologia de nombrosos animals –fent-ne variar el ritme respiratori, cardíac, i el metabolisme en general.

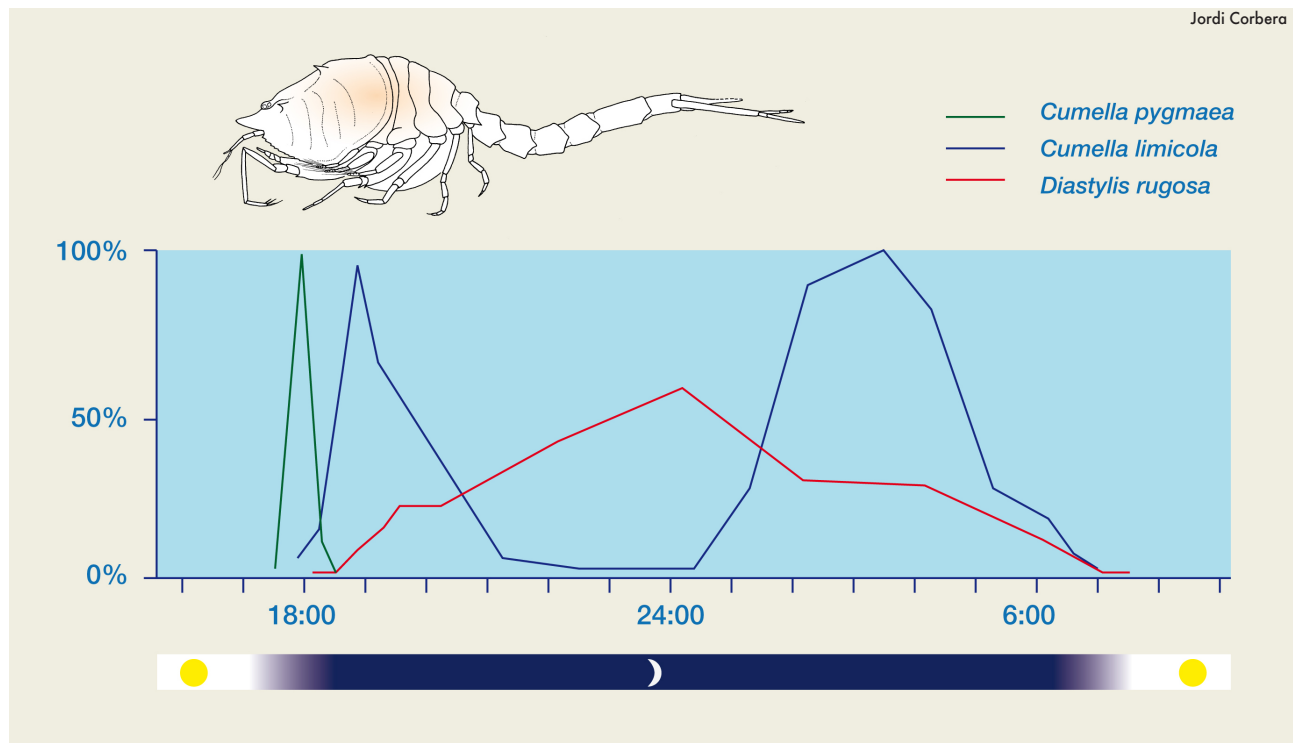


Fig. 12. Representació del ritme circadiari de tres espècies de crustacis cumacis. El % indica el percentatge d'individus capturats en superfície, que és una mesura indirecta per saber a quines hores migren cap a la superfície.

Bioluminescència

Hi ha organismes que tenen la capacitat de generar llum –es diu que tenen *bioluminescència*–. Malgrat que en el medi terrestre hi ha molt pocs animals capaços de produir aquesta llum freda, en el medi marí nombrosos organismes tenen aquesta capacitat, entre els quals trobem, per exemple, peixos, bacteris, dinoflagel·lats, crustacis, cnidaris, mol·luscs i equinoderms. La gran majoria usen aquesta llum com a mecanisme de defensa –per distreure els predadors, per camuflar-se, etc.–, per trobar o atreure preses i per reconèixer els individus amb qui es poden reproduir. Per exemple, hi ha calamars que tenen el cos cobert d'òrgans luminescents i, a més a més, segreguen una tinta bioluminescent, fets que els permeten desconcertar i despistar els predadors mentre fugen. Alguns peixos usen la bioluminescència per comunicar-se amb altres individus de la mateixa espècie. Hi ha espècies, com algunes de calamars, gambes i cucs, que expulsen secrecions

lluminoses o es desprenen de parts lluminoses del cos en presència de predadors, perquè aquestes parts mantinguin el predador distret mentre ells fugen. Alguns peixos emeten llum enfocant-la cap al fons, de manera que vistos des de baix es confonen amb el medi –emeten una llum similar a la que arriba a la fondària on es troben– i així passen més despercebuts als predadors. Molts caçadors de les grans fondàries empen la llum per atreure les preses, per la qual cosa solen emprar esquers lluminosos; alguns raps cacen d'aquesta manera, ja que tenen una prolongació al cap que conté bacteris lluminosos.

Nombrosos organismes planctònics emeten llum quan són pertorbats momentàniament. Per això, durant la nit, sovint les barques en moviment deixen una estela brillant al darrere. Molts d'aquests organismes bioluminescents del plàncton són dinoflagel·lats. Es creu que tenen aquesta capacitat per dissuadir els predadors: es diu que amb la seva llum atreuen els predadors dels seus propis predadors, fet que fa que siguin menys depredats. De vegades, s'anomena *fosforescència* la llum emesa pel plàncton.

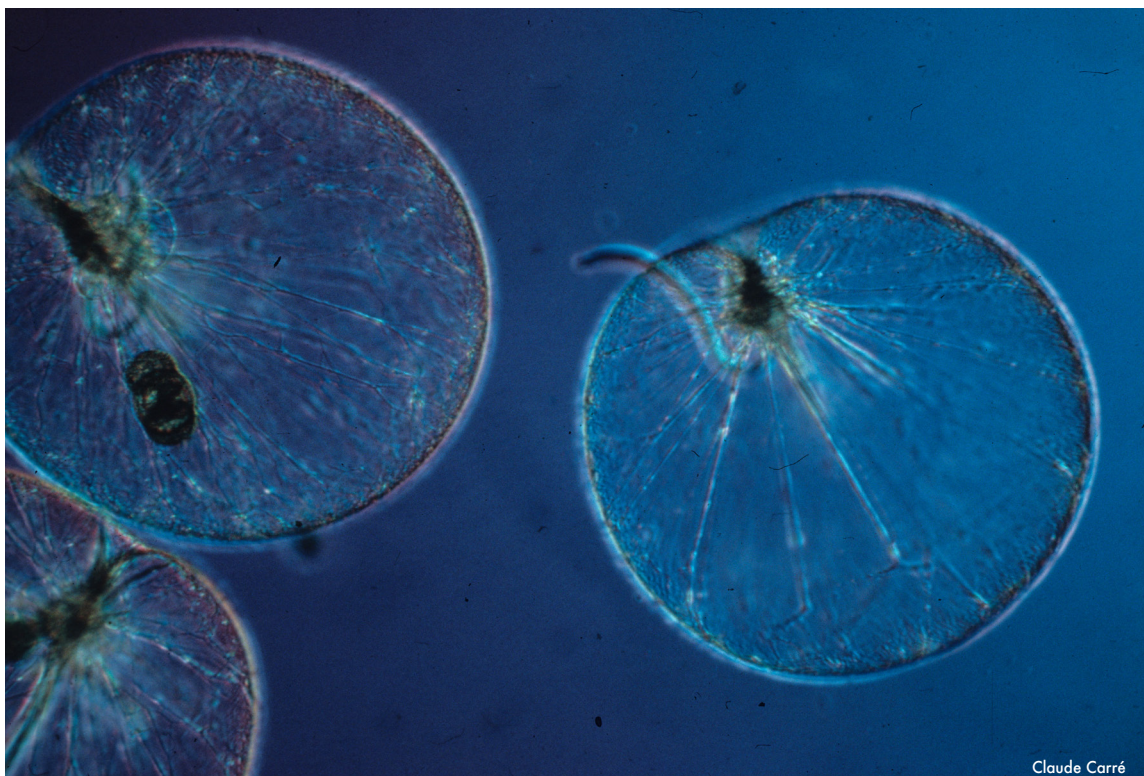


Fig. 13. *Noctiluca* sp., un dinoflagel·lat planctònic que emet llum quan se'l molesta.

La bioluminescència es sol produir en cèl·lules especialitzades, els *fotoòcits*, que es troben dins d'òrgans lluminosos, anomenats *fotoòfors* –poden ser més o menys complexos–, però que poden també estar dispersats per parts del cos o a tot el cos de l'organisme. Hi ha organismes, però,

que contenen bacteris simbiotes bioluminescents en òrgans especialitzats; aquests bacteris són els que produeixen la llum i reben de l'hoste protecció i aliment. Nombrós peixos i calamars presenten aquesta estratègia de producció de llum.

En la reacció química que produeix la llum freda, l'enzim lluciferasa oxida una substància anomenada *lluciferina*, i en aquesta reacció s'allibera energia en forma de llum freda. La llum produïda pels organismes sol ser de color blau verdós, encara que també pot ser groga, verda i, fins i tot, vermella. Hi ha algun peix que viu en zones abissals que emet llum vermella per il·luminar les seves preses; aquesta llum sol ser invisible per a la majoria d'animals que viuen en aquestes fondàries.

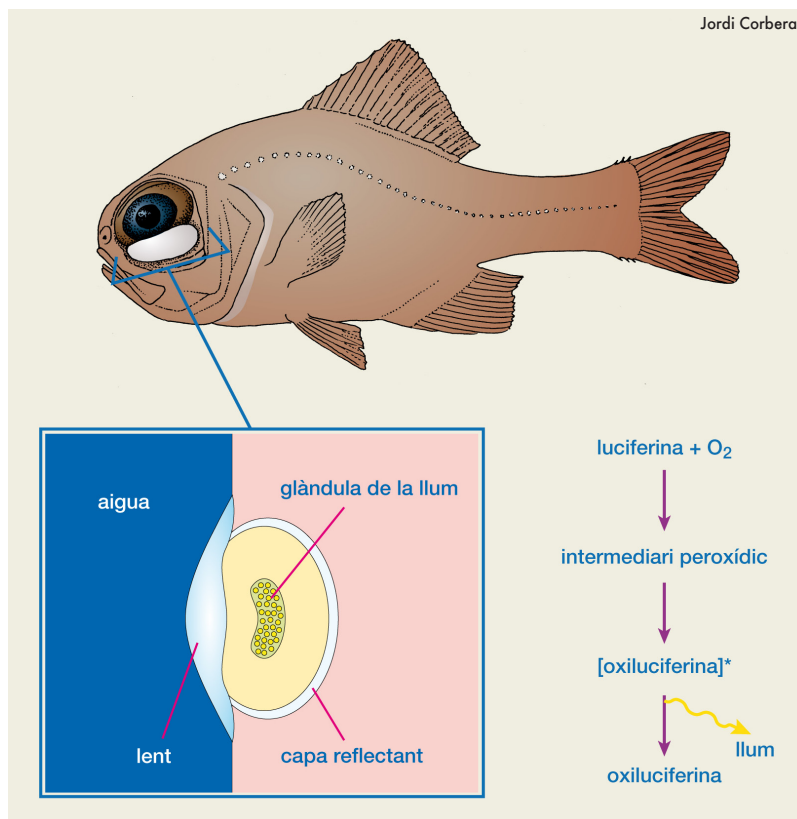


Fig. 14. Representació gràfica de l'òrgan lluminós d'un peix llanterneta (*Photoblepharon palpebratus*) que conté bacteris, i la reacció causant de la producció de llum.

Relacions de simbiosi amb microorganismes que capten llum o n'emeten

Ja s'han esmentat les relacions de simbiosi entre alguns peixos i calamars amb bacteris bioluminescents. Ara bé, també hi ha organismes que encara que no poden captar la llum directament, contenen organismes fotosintètics dins el cos en relacions de simbiosi. Alguns d'aquests organismes inclouen algunes meduses, coralls durs i les anemones que viuen en zones il·luminades, que contenen

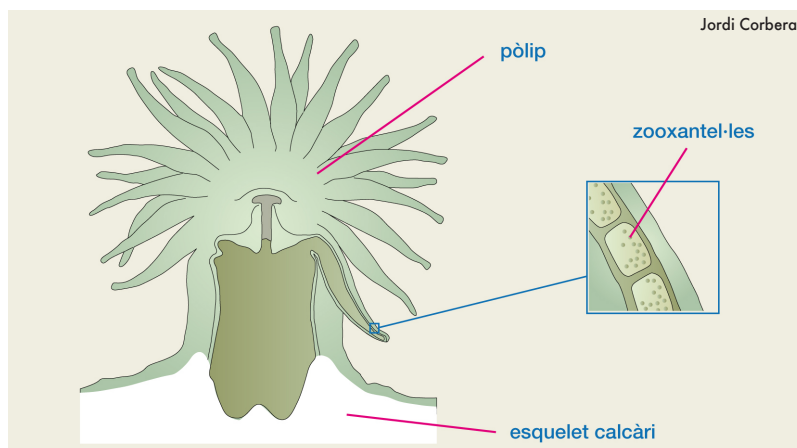


Fig. 15. Situació de les zooxantel·les en el pòlip d'un corall.

unes algues anomenades *zooxantel·les*. Aquestes relacions íntimes aporten protecció i aliment a les algues, i una font d'aliment important a l'animal hoste; són tan importants per a l'animal que si, per exemple, es moren o marxen del corall a causa de canvis ambientals desfavorables, poden produir-li la mort. Altres animals, com alguns nudibranquis, incorporen en el mantell els cloroplasts de les algues de què s'alimenten, fet que els confereix un color verdós.

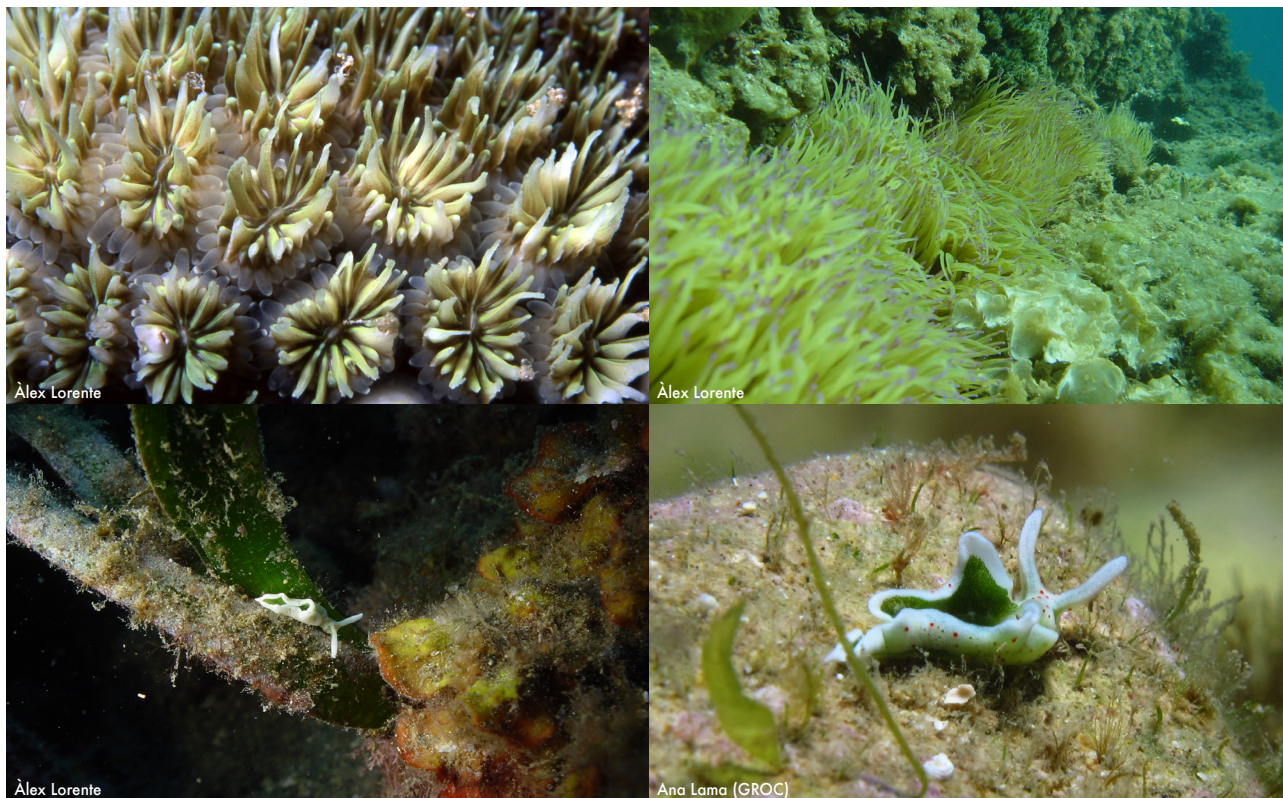


Fig. 16. Les relacions de simbiosi amb organismes que capten llum són comunes en el medi marí: ↑ alguns coralls durs (*esq.*) i anemones (*dta.*) tenen zooxantel·les simbiòntics; i ↓ alguns opistobranquis com *Elysia timida*, incorporen cloroplasts en el seu mantell, fet que els dóna un color verdós.