

Ilunean argi

Aitziber Agirre Ruiz de Arkaute

Elhuyar Zientziaren Komunikazioa

Egun-argia da, eta paumak nahikoa du bere luma koloredunak erakustea inguruko emeak liluratzeko. Txundituta geratzen dira haren begi-itxurako lumak zabal-zabalik ikusita. Kurriloak, berriz, emearen aurrean burua makurtu, jauzi egin eta balet moduko dantza dotorea egin dio. Emea berehala sorgindu du horrek ere. Baina itsaso sakonean bizi diren animaliek gorteiatzeko zailtasun handia dute: itsasoa ilun dago. Argirik ez da iristen eta haien edertasun guztia ezkutuan geratzen da, zapuztuta. Zer egin bere burua nabarmen utzi eta espeziekideak liluratzeko?

ANIMALIEN ERREINUAN BIZIRIK IRAUTEKO BEHARREZKOA DA EXHIBIZIONISMO-PUNTU BAT. Espezie bakoitzak bere edertasun-irizpideak ditu —ikusirik ez dago makakoek ipurdi soildua goratu eta zer harro erakusten duten—, baina, gainerako animalio irizpide horiei buruz izan dezakegun iritziaren gaitetik, estrategia baliagarriak dira kasu guztietan.



S. HADDOCK / MONTEREY BAY AQUARIUM RESEARCH INSTITUTE

Itsaso zabalean bizi diren besteekiko estrategia erabat desberdinak garatu dituzte eboluzioan zehar. Bibrazioen eta seinale kimikoen igorpena dira erabilienetako batzuk, baina badago beste estrategia bat ere: bioluminizentzia. Animalia batzuek beren burua

argiztatzeko argia sortzen dute espeziekideek iluntasun betean aurki ditzaten, zein harrapakinak erakarri ahal izateko edo etsaiak uxatzeko ere. Azken batean, nork bere *linternatxoa* izateak aukera ugari ematen du, ez gorteiatzeko bakarrik.



Sakonera gutxiko uretan ugariak dira kolore biziko animalia eta landareak, baina, sakonera handitu ahala, iluntasuna da nagusi, eta koloreek ezer gutxirako balio dute orduan.

Estrategia konplexua eta garestia da bioluminiszentzia; hortaz, animalia lur-tarren artean gutxi batzuek baino ez dute erabiltzen. Itsasoan, ordea, oso baliagarria da, eta 200-1.000 metro sakon bizi diren animalien % 90ek erabiltzen dute. Izan ere, animalia lur-tar gehienok lurrazalean bizi gara, elkarrengandik oso gertu; nolabait, bi dimentsiotan mugitzen gara. Baina nola egingo dute topo, bestela, itsaso zabalean eta elkarrengandik izugarritzko distantziara bizi diren arrainek? Gakoa argian dago.

Argi hotza

Landareen kasuan, txundigarria da zer-nolako ahalmena duten eguzki-izpien bidez soilik energia lortu eta bizitzeko. Argiak ematen die bizia, ez dute animalioek bezalako estrategia metaboliko konplexurik behar. Baina are txundigarriagoa da ikustea bizidun askok fotosintesiaren kontrako bidea egin dezaketela: energia erabili eta argia sortzen dute. Bonbilla batek

bezala, baina askoz ere modu eraginkorragoan; ia-ia % 100eko eraginkortasunaz.

“bizidun bioluminiszenteez, bonbilla batek bezala, argia sortzen dute, baina askoz ere modu eraginkorragoan”

Erraz hauteman daiteke bonbilla batek zer-nolako energia-galera duen: une batez piztuta egon ondoren ukituz gero, bero-bero egoten da, hatzak erretzeraino ia. Azken batean, bonbillaren hariak distira sortzeko bideratzen den energiaren zati handi bat bero modura galtzen da; energiaren % 30

baino ez da bihurtzen argi. Bizidun bioluminiszenteez, ordea, energia kimiko guztia argi bihurtzen dute. Argi hotza sortzen dute, beraz.

Mundua urdin-berdean

Luziferina izeneko konposatuak ematen die bizidun horiei guztiei argia sortzeko bidea. Luziferina-mota ugari ikusi da, baina guztiek mekanismo kimiko bera erabiltzen dute argia sortzeko. Naturan argia igorri eta jasotzearekin zerikusia duten prozesu guztiek bezala, elektroiekin jotzen dute luziferinek ere. Luziferasa izeneko entzimak bideratzen du prozesua: luziferina oxidatu eta aldi berean kitzikatu egiten da. Elektroiek energia irabazten dute prozesu horretan, eta, jatorritzko energia-egoerara itzuli eta erlaxatzean, fotoia askatzen dute, alegia, argia. ➔

Argi ikusgaia izaten da beti. Izan ere, luziferina guztien egitura molekularra eratzun aromatiko osatuta dago, eta haien ezaugarria da elektroiak erlaxatzeko eman behar duten energia-jauzia argi ikusgaiaren energiaren parekoa dela.

Baina, argi ikusgaia izanda ere, itsasoan ikusten diren argien espektroa oso zabala da, eta, neurri handi batean, luziferinaren egiturak berak mugatzen du aterako den argiaren kolorea. Moretik gorrirako espektro-tartea ikusten da itsasoko argi bioluminiszenteetan –morea, urdina, berdea, horia, laranja zein gorria–, nahiz eta urdina eta berdea nabarmen gailentzen diren kolore guztien artean. Alegia, espektroan 470-490 nanometro inguruko uhin-luzera duen argia. Baliteke eboluzioaren ikuspuntutik kolore urdina izatea abantailatsua, itsasoko ura bereziki gardena baita argi urdinarekiko, eta, beraz, hori da itsasoan edonora argia helarazteko uhin-luzerarik egokiena; beste edozein koloretako argia baino urrutiago iristen da.

Baina ez da hemen amaitzen bioluminiszentziaren konplexutasuna. Animalia askok, oinarrizko zelula argi-sortzaileez gain, egitura optiko osagarriak eta oso konplexuak garatu dituzte: batzuetan, argi gehiago igortzeko; beste batzuetan, pantaila islatzaile modura jokatzen dute, argia norabide jakin batera bideratu ahal

“urdina da argi guztien artean gehien erabiltzen dutena, itsasoko uretan beste edozein koloretako argia baino urrutiago iristen baita”

izateko; badira, linternetan bezala, argi-izpia fokatzeko edota difuminatzeko egiturak ere; eta, azkenik, argiaren kolorea aldatzeko iragazkiak.

Konbergentzia ebolutiboa

Argia sortzeko trikimailu kimiko hau gutxienez 30 aldiz ‘asmatu’ da naturan. Hainbat garai, ekosistema eta espezieetan independenteki sortu da, eta kasuan kasuko arazoari aurre egiteko balio izan du. Banan-banan begiratuz gero, berehala sumatzen da independenteki garatu direla, erabat desberdinak baitira bizidun batzuek zein besteek argia sortzeko erabiltzen dituzten luziferinak eta haien luziferasa entzimak.

Naturan horrenbestetan azaldu izanak argi uzten du zenbateko garrantzia duen bioluminiszentziak itsaso zaballean bizirik irauteko. Benetako premia biologikoa da han bizi direnentzat. Hori bai, estrategia kimiko bakar horren atzean, itsasoko animaliek asmatutako ehunka erabilera desberdin ageri dira egun.

Askok bikotekidea bilatzeko erabiltzen dute. Argi-kode bereziak erabiltzen dituzte “emea ar osasuntsu baten bila” moduko mezuak bidaltzeko. Halakoe-tan, distiren erritmoak adierazten dio



Histoteuthis heteropsis zefalopodoa sakonera handietan bizi da, eta argia sortzen duten fotoforoz josia du azala. Inguruko argiaren arabera, harrapari eta harrapakinen aurrean kamuflatzeko erabiltzen ditu.

S. HADDOCK / MONTEREY BAY AQUARIUM RESEARCH INSTITUTE



Bizidun zelulabakar askok ere garatu dute bioluminiszentzia. *Tuscaridium cygneum* izeneko erradiolarioek horrelako koloniak osatzen dituzte itsasoan, zentimetro ingurukoak, eta, edozerk traba eginez gero, distira egiten dute.

S. HADDOCK / MONTEREY BAY AQUARIUM RESEARCH INSTITUTE

Begiak ere moldatu egin behar

Azken urteetan biologoak konturatu dira itsasoko animaliek, argia sortzeko egiturez gain, kondizio zail horietan beste bizidunak ikusteko egitura bereziak ere garatu behar izan dituztela. Itsasoan sakondu ahala, gero eta ilunagoa eta urdinagoa ageri da ingurua. Alde batipelagikoan, 1.000 metrotik behera, ez dago egun-argiaren arrastorik ere, eta dirdira bioluminiszentek baino ez dira ikusten. Gune horretan bizi diren animalientzat, beraz, nahikoa da argiarekiko sentikortasun eskasa duten begi txiki-txikiak edukitzea. Izan ere, sentikortasun txikia izanik ere, erresoluzio espazial bikainarekin, gai dira puntu bioluminiszentek distantzia ikaragarrietara hautemateko iluntasunean.



GUDMUNDUR GEIR

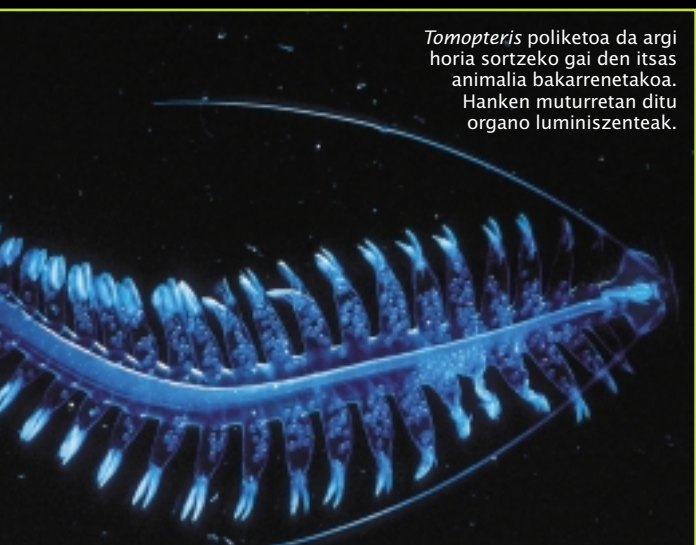
Alde mesopelagikoan (200 eta 1.000 metro bitartean), ordea, zailtasuna bikoitza da: egun-argia zein argi bioluminiszentek ageri dira. Hain egoera optiko desberdinetara moldatu beharrak eragin zuzena izan du bizidun mesopelagikoen begien diseinuan. La edozein sakoneratako argi-kondizioetara moldatuko diren begiak diseinatu behar izan ditu eboluzioak, eta optikoki zein neurologikoki aldaera handiak direla ikusi berri dute ikeritzaileek: batzuek ikusmenaren sentsibilitatea handitu dute argiztapen ahuletan ikusi ahal izateko; beste batzuek nahiago izan dute sentikortasun horri uko egin eta dirdira bioluminiszenteko puntuak errazago aurkitzeko gaitasuna garatu. Eboluzionatuenean, aldiz, erretinan argi-mota baterako eta besterako espezializatu diren guneak tartekatzea lortu dute.

bikotekide izan daitekeenari nor ari den bikotekide bila, eta, beste batzuetan, argi-organoen formak berak. Kasu horietan guztietan, heldutasun sexualak mugatzen du noiz garatzen dituen arrainak organo bioluminiszentek.

Melanostomias valdivia izeneko arraina (ingelesez *black dragonfish*) Hawaiiko uretan bizi da, eta oso erabilgarri zaion moldaera erabat desberdina garatu du.

“argia sortzeko
trikimailu kimiko
hau gutxienez
30 aldiz
‘asmatu’ da
naturan”

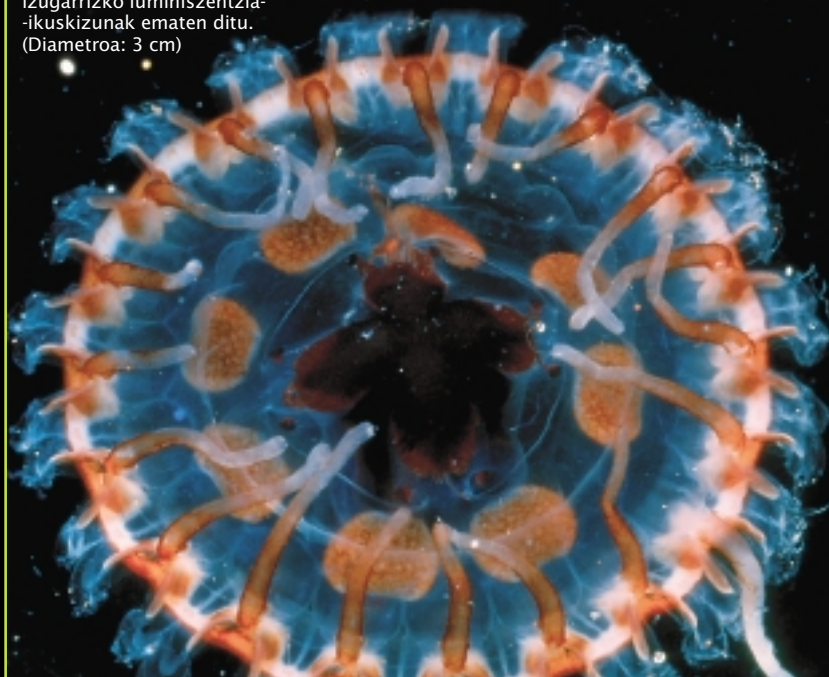
Bi organo bioluminiszente ditu: argi urdin-berdea sortzen duena, bata, eta argi infragorria sortzen duena, bigarrena. Itsaso sakonean bizi diren animalia gehienek ezin dute argi infragorria ikusi, hortaz, linterna baten modura erabiltzen du *Melanostomias valdivia*-k, harrapakinak ohartarazi gabe zelatatu ahal izateko. ➔



Tomopteris poliketoa da argi horia sortzeko gai den itsas animalia bakarrenetakoa. Hanken muturretan ditu organo luminiszentek.

S. HADDOCK / MONTEREY BAY AQUARIUM RESEARCH INSTITUTE

Atolla vanhoeffeni medusa planetako itsaso gehienetan bizi da. Arriskua sentitzen duenean izugarritzko luminiszentzia-ikuskizunak ematen ditu. (Diametroa: 3 cm)



S. HADDOCK / MONTEREY BAY AQUARIUM RESEARCH INSTITUTE

Itsaso sakoneko iluntasunak eta kanpoko argiak nabarmen baldintzatu dute horietako biztanleen bizimodua. Eboluzioak bide erabat desberdina egin du batean zein bestean.



MTC

Zefalopodoek, aldiz, kamuflatzeko erabiltzen dute bioluminiszentzia. Gorputzaren goialdea ilundu edo besoan muturrak argizatuz ezkututzen dute beren burua uretan haien gainetik dabilzan harrapariengandik. Flash laburrak eta azkarrak ematen dituzte arriskua sentitzen dutenean.

Sakonera txikiagoetan bizi diren animaliek bestelako erabilera eman diote. Argi naturala iristen zaie goitik, eta hori arazo larria bihurtzen zaie nahi gabe, harraparia behetik hurbiltzen bada, harrapakinari argi kontra antzeman diezaiokelako. Halakoetan, bioluminiszentzia kontrargiztapena egiteko erabiltzen dute. Sabelaldean igortzen duten argiaren intentsitatea eta uhin-luzera erregulatzen dute, giro-argiztapenarekin bat egin dezan. Hala, ia erabat ikusezin egiten zaio harrapariari eta, besterik gabe, alde egiten du.

Horren antzeko estrategia erabiltzen du zigarro-marrazoak (*Isistius brasiliensis*) bere harrapakinek ikus ez dezaten: bioluminiszentziaz kontrargiztapena

“*bioluminiszentzia estrategia konplexua izanagatik, ez da animalien erreinuan soilik garatu*”

eginez kamuflatzen du sabelaldea. Baina estrategia are konplexuagoa da: ahotik gertuko azal-pusketa batek ez du organo bioluminiszenterik; hortaz, behetik ikusita, marrazoaren ordeztarain txiki baten silueta iluna baino ez da ikusten. Zirria sartuta *arrain txikia*

Dinoflajelatuek izugarri ikuskizun polita ematen dute itsasoan. Gaez ontziren bat pasatzen bada, haren atzean argi-arrastoa ikus daiteke: argi-txinparta urdin eta berdeak.



jatera doan arraina hurbiltzen zaio-
nean, marrazoa bentosa baten
moduan heltzen zaio eta hortzak sar-
tzen dizkio, hozka egin eta, istant
batean, zigarro batek azalean itzalita
egingo liokeen moduko arrasto biribil
ia perfektua utzita.

“ikertzaileek
jakin nahi dute
hizkuntza gisa
erabiltzen ote
duten argia”

Azkenaldian interes berezia hartzen ari
da bioluminiszentziaren beste erabilera
bat: ikertzaileek jakin nahi dute hiz-
kuntza gisa erabiltzen ote duten argia,
susmatzen baitute baliagarria izan dai-
tekeela espezie bereko bi indibiduoren
artean informazioa elkarri igortzeko
sistema modura.

Estatu-segurtasuna

Duela urte batzuk, bioluminiszentzia
ikertzen zuten lau zientzialari atxilotu
egin zituen Ukrainako Segurtasun
Zerbitzuak, haien etxeak arakatu
ondoren. Lituaniako biltzar zientifiko
batera bioluminiszentzia bidez egin-
dako planktonaren mundu-mapa era-
man izana leporatu zieten, eta estatu-
-sekretuak argitzera eman izana.

Azkenean argitu zen kasua: biolu-
miniszentziak itsaspeko ontzi sekre-
tuen kokapena ezagutu ahal izateko
balio dezake, planktonak batez ere
fisikoki traba egiten diotenean igor-
tzen baitu argia, itsaspekoak igaro-
tzean, esaterako. Eta, Segurtasun
Zerbitzuaren ustez, erraza da sateli-
te zein hegazkin bidez halakoak hau-
tematea.

Ez zen orduko kontua bakarrik,
aurretik ere historia luzea izan du
planktonak gerran: 1918an, U-34
itsaspeko alemaniarra suntsitu zuten
Mediterraneoan, bioluminiszentziak
haren kokapena salatu ondoren.
Harrezkero, herrialde askok onartu
du itsaspekoak hautemateko plank-
tonaren bidezko sistema aurreratuak
garatzen ari dela.



ARTXIBOKOA



Bizidun ñimiñoenek ere bai

Bioluminiszentzia estrategia konplexua
izanagatik, ez da animalien erreinuan
soilik garatu. Animalia askok bakterioei
esker eskuratzen dute argia igortzeko
ahalmena, sinbiosi bidez eta mantenu
truke bizi baitira bakterio bioluminis-
zenteak haien barruan. *Syctaspis*
debilis izkirak bakterio bioluminiszen-
teen zorrotada jaurtitzen dio eraso egi-
teko asmoa duen edozeini. Itsasoko
iluntasun beltzean, distira luminiszen-
teak harraparria itsutu eta desorienta
dezake istant batez. Alde egiteko nahi-
koa denbora.

Dinoflajelatuak ere fitoplanktonaren
osagai mikroskopikoak dira, eta argia
sortzen duten bizidunen artean ugarie-
netakoak dira. 20-500 mikrako landa-
reak baino ez dira, baina haien burua
defendatzeko argiztatu egiten dira.

Kopepodo motako krustazeoak dino-
flajelatuak jatera gerturatzen direnean,
argi-flashak igortzen dituzte txikiene-
k, eta horrek, kopepodoena ez ezik, in-
guruko arrain handiagoen arre-
ta ere pizten du. Ondorioz, kopepodoek dino-
flajelatuak bakean utzi eta arrainen-
gandik ihesi joan behar izaten dute.

Hortaz, bizidun konplexuenetik sin-
pleenera, bioluminiszentzia ezinbes-
teko erreminta da itsasoko iluntasun-
nean bizirik irauteko. Ez argi-eska-
siagatik bakarrik, baizik eta itsasoan
bizitza ez delako hondora mugatzen;
askoz ere ekosistema zabalagoak dira.
Bi faktore horiek baldintzatzen dute
hango bizimodua, eta nabarmena da
zer bide desberdina egin duten milur-
teko hauetan guztietan bizidun lur-
tarren eta itsastarren bizimoduak eta
eboluzioak. ▢

ARTXIBOKOAK