

Klima-aldaketa eta itsas plankton-ekosistema: inpaktua Ipar Atlantikoan eta Euskal kostaldean

Fernando Villate

Landare-Biologia eta Ekologia Saila. Zientzia eta Teknologia Fakultatea
(UPV/EHU)

Ibon Uriarte

Landare-Biologia eta Ekologia Saila. Farmazia Fakultatea
(UPV/EHU)

Arantza Iriarte

Landare-Biologia eta Ekologia Saila. Zientzia eta Teknologia Fakultatea
(UPV/EHU)

Laburpena: Gizakiok eragindako klima-aldaketaren inpaktua biosferaren osagai guztietan nozitzen ari da, eta modu eragingarriagoan Lurreko azaleraren bi heren baino zabalagoa den itsas plankton-ekosisteman. Hain zuzen, Ipar Atlantikoko plankton-ekosistema da gehien eta modu sistematikoagoan ikertu den itsas eremua, klima-aldaketak plankton-ekosistemetan bide duen eraginari buruzko informazio-iturri osatuena dena. Itsas eskualde honetan, behatu da berotze globalari egotziriko plankton-espezieen iparralderanzko lekualdatzea eta aldaketa fenologikoak gertatzen ari dela, eta era berean, badira plankton-ugaritasun, ekoizpen eta dibertsitatearen aldaketak, eta planktonaren eta bere kontsumitzaileen arteko erlazioen aldaketak ere. Azidifikazioaren eragina, berriaz, gutxi ikertu da, eta ez da oso ondo ulertzen. Kostaldeko plankton-ekosistemei dagokienez, klima-aldaketari emandako erantzunak korapilatsuagoak eta identifikagaitzagoak dira, berotzearen efektuaz gain klima-aldaketak dakartzan beste eragile batzuen eta tokiko aldaketa antropogenikoen elkarrekintzaren ondorioz. Hala ere, euskal plataformako eta estuarioetako plankton komunitateetan ere azken urteotan behatuak dira klima-aldaketarekin zalantzarik gabeko zerikusia duten hainbat aldaketa, hala nola komunitate neritikoetan zein estuariotarretan berriki gertatu den ur beroetako hainbat espezieen agerpena eta hedapena. Egun, klima-aldaketak plankton-ekosistemaren gainean duen eragina agerikoa da, bai eskala globalean bai gure eskualdean, baina bere ondorioak hobeto ulertzeko eta aurreikusteko ezinbestekoa da denbora serieak eta iragarpen ereduak garatzea.

Abstract: Current man-made climate change is having an impact on all kinds of systems in the biosphere, but marine plankton ecosystems, which cover two thirds of the earth's surface, are being particularly affected. The North Atlantic is the marine realm in which the plankton ecosystem has been more intensively and systematically studied, and it is from this marine region that we have the most comprehensive set of information on the impacts that climate change is having on plankton ecosystems. In the North Atlantic, species movements to the north, changes in species phenology, changes in plankton abundance, production and diversity and changes in the relationship between plankton and their consumers have been observed. The effect of acidification has been less studied and it is still not well understood. Regarding coastal plankton ecosystems, their response to climate change is more complex and, therefore, more difficult to be identified, since in addition to the warming effect, there are interactions with other effects derived from climate change and local anthropogenic impacts. Nevertheless, in the last decades on shelf and estuarine waters of the Basque coast changes in the plankton communities which undoubtedly are related to climate change have been observed, amongst which we have the appearance and spread of warm affinity species in the neritic and estuarine plankton communities. Today, on a global scale and also on the regional scale of the Basque coast, there is evidence of climate change effects on plankton ecosystems, but for a better understanding of their consequences, and to be able to predict them, it is essential that we obtain time-series and develop predictive models.

SARRERA

Klima-aldaketaren ezaugarri azpimarragarriena da azken hamarkadetan jatorri naturala baino antropikoagoa duen tenperatura-igoera orokorra. Berotze globala gizakiok atmosferara isuritako berotegi efektuko gasei egotzi zaie, batez ere karbono dioxidoari (CO₂-ri), eta biosferako unitate funtzional guztietan antzeman da berotzea. Tenperatura-igoera horrek, batez ere, ozeanoari eragiten dio, klima-sistemari gehitutako beroaren % 84a ozeanoak xurgatu baitu azken lau hamarkadotan [1] [2] [3]. Era berean, atmosferako CO₂-ren igoerak ere eragin zuzena izan du ozeanoan, 1800etik isuritako CO₂-ren ia erdia xurgatu baitu; horren ondorioz, pH-an 0,1eko gutxitzea gertatu da [4]. Hori dela-eta, zenbaiten ustez, berotze global horrek gehiago eragin diezaieke itsas ekosistemeei, lehorrekoei baino. Izan ere, tenperaturak ur zutabeko egonkortasunean, mantenu gaien horniduran eta ekoizpen berriaren mailan eragiten du; horren ondorioz, zooplanktonaren ugaritasunean, tamaina-egituran, dibertsitatean eta bazka-kate pelagikoaren maila trofiko guztien errendimenduan ere [5]. Horretaz gain, klima-aldaketak eragindako zooplanktonaren banaketa-aldaketak eta fenologia-aldaketak azkarragoak izan ohi dira lehorreko taldeetan behatutakoak baino [5].

Planktona da ekosistemaren sustatzailea ozeano zabalean, azaleko itsasoetan, kostaldeko uretan eta bai zenbait estuario eta itsasertzetako ur-sistemetan ere. Fitoplanktona, hots, planktonaren organismo fotosintetikoek osaturiko taldea, da bazka sarearen oinarri nagusia sistema horietan; bes-

talde, zooplanktona, hau da, planktonaren animaliek osaturiko taldea ezinbesteko bitartekaria da ekoizle primarioen eta goi mailako kontsumitzaielen (arrain, itsas hegazti, itsas ornodun, baita gizakion ere) artean. Beste alde batetik, zooplanktonaren osagaietariko bat den iktioplanktonaren, hots, arrainen arrautza eta larbek osaturiko taldearen, biziraupena beste plankton-kideekiko elkarrekintzaren eta inguruneko aldaketen menpekoa da. Plankton-organismo hauek guztiak, habitat fisikoarekin batera, ikerketarako unitate funtzional berezia osatzen dute ur-sistemetan: plankton-ekosistema.

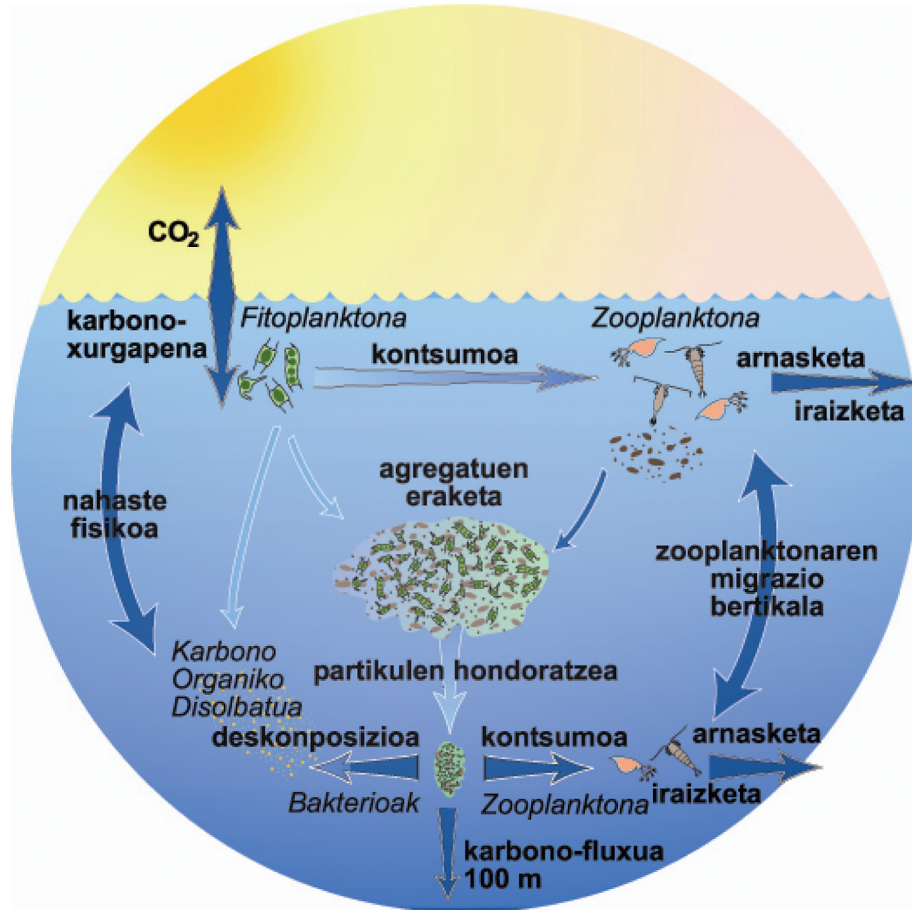
Mundu mailan funtsezko gaia da klima-aldaketak plankton-ekosisteman nola eragiten duen ulertzea. Beraz, artikulu honek itsas plankton-ekosistema eta klima-aldaketaren arteko erlazioak aztertzea du helburu nagusi. Arreta berezia jarriko da azken hamarkadetan, berotze globalarekin batera, Ipar Atlantikoan eta Euskal Kostaldeko sistemetan behatutako plankton-aldaketetan, hala nola, espezieen ugaritasunean, banaketan eta fenologian, eta komunitate-egituran. Era berean, plankton-aldaketa horiek bazka-sare pelagikoan eragin dezaketen inpaktua jorratuko da, eta horren ondorioz gizakiok ustiatzen ditugun arrain-espezieetan eragin dezaketen inpaktua ere. Artikulu honetan, azaltzen saiatuko gara atmosferako CO₂-ren emendioari nola erantzuten ari zaion planktona, eta zein baliagarritasun izan daitekeen klima-aldaketaren adierazle gisa.

ITSAS PLANKTON-EKOSISTEMAREN GARRANTZIA

Klima-modulatzailea

Itsas plankton-ekosistemak berebiziko garrantzia du biosfera mailan, bai klima globalaren erregulatzaile gisa, bai ziklo biogeokimikoen funtzionamenduan. Atmosferako CO₂-edukia oso txikia da (egun % 0.03 ingurukoa) eta egonkorra izan behar da Lurreko klimaren ezaugarriak mantendu ahal izateko. Hori dela-eta, prozesu naturalen zein antropogenikoen bidez atmosferara isurtzen den karbonoa atmosferatik atera behar da, beste karbono-forma batera bihurtuta Lurreko beste konpartimendu batera joateko. Prozesu honetan, hain zuzen, ozeanoetako ur-masek (prozesu fisikoen bidez) eta planktonak (prozesu biologikoen bidez) garrantzi handiko betekizuna dute: ponpa biologikoa (1. irudia). Atmosferako CO₂-kontzentrazioa handitzen denean, karbono gehiago heltzen da ozeanora eta itsas azaleko geruzan atmosferatik itsas hondorako CO₂-ren ponpatze biologikoa gauzatzen da fitoplankton-fotosintesiari esker; gauza bera gertatzen da zenbait bizidun planktonikok beren oskolak osatzeko karbonoa erabiltzen dutenean.

Karbonoaren hondoratze hori hainbat modutan gertatzen da: fitoplanktona eta karbonatozko oskolak dituzten organismoen (batez ere, kokolitoforidoen) heriotzaren edota agregazioaren ondorioz sedimentatuta, edo zoo-



1. irudia. Karbonoaren ozeanoko ponpa biologikoaren eskema laburtua (Iturria: United States Joint Global Ocean Flux Study).

planktonak fitoplanktonaz elikatu ostean sorturiko gorotzak sedimentatuta. Bestalde, karbonoaren hondoratze hori hainbat organismo zooplanktonikoren migrazio bertikalei esker azkartu egiten da, gauez azaleko geruzetan jandako fitoplanktona metabolizatuz gero, egunez hondoko geruzetan irazten delarik.

Gizakiak ustiatzen dituen itsas baliabide biotikoen sustatzailea

Ekonomia eta arrantzaren ikuspuntutik, planktona garrantzi handikoa da, zeharka bada ere. Izan ere, itsas ekosistemen jasate-gaitasuna arrain-baliabideei eta stock harrapagarrien erreklutatzeari dagokienez planktonaren

konposizio-, egokitasun- eta ugartitasun-aldakortasunaren menpe dago, hein handi batean [6]. Arrainak zooplanktonaz elikatzen dira larba aldiaren, eta zenbait espezie pelagikoren kasuan gazte eta helduen aldietan ere. Zehazki, zooplanktona osatzen duten taxoi kategorian ugarienen artean kopepodoak dira dietaren oinarria arrain-espezie larba gehienentzat. Bazkatzen hasi-behriak diren larbak tamaina txikiko nauplius-faseko kopepodoez elikatzen dira nagusiki, baina larbek, hazten diren heinean, gero eta tamaina handi-goko kopepodito eta kopepodo helduak aukeratzen dituzte. Beraz, funtsezkoa da arrain-larben biziraupena eta ustiagai diren arrain sarden hazkundera bermatzeko, inguruneke beste baldintza fisiko batzuekin batera eta harrapakaritzaren bezalako baldintza biotiko batzuekin batera zooplankton harrapakin ugari eta konposizioan, tamainan eta abarrean egokiak izatea. Hala ere, plankton-arrainen arteko erlazio trofikoari dagokionez, guztiz garrantzitsua den beste kontu bat ere badago: arrainen errute aldiaren eta arrain-larben-tzakako jakia den zooplanktonaren ekoizpenaren arteko akoplamendua, hain zuzen [7] [8]. Plankton-espezie gehienetan banakoan biziraupena laburra izaten bide da eta populazioaren urtaroko aldakortasuna handia. Izan ere, hainbat espezie oso ugariak dira sasoi jakin batzuetan, eta besteetan, aldiz, oso urriak, desagertzera ere iristen direlarik. Planktonaren aldaketa horiek, tenperaturaren urteko zikloaren, eta horri dagokion ur zutabearen estratifikazioaren eta mantengugai urtaroko aldaketan menpean daude. Beste alde batetik, plankton populazioen banaketa eredu ohikoena agregazio handikoa da. Arrainek badituzte erruteko urtaro eta gune jakin batzuk, faktore fisikoen menpekoak kasu gehienetan. Hori dela-eta, Durant *et al.*-ek «akoplamendu-desakoplamendu» (match-mismatch) hipotesia garatu zuten arrainen erreklutamenduaren aldakortasuna azaltzeko, eta klima-aldaketak akoplamendu edo desakoplamenduaren eragiletzat hartuz [9]. Hipotesi horren arabera, arrain-larben kohorte baten biziraupena, estuki lotuta legoke errute-lekuan eta larben garapenerako beharrezko denbora tartean aurki daitekeen bazka kantitateari. Hau da, arrain-larben eta planktonaren banaketak akoplatuta egon behar dira, espazioan nahiz denboran, kohortearen garapena arrakastatsua izan dadin. Hori kontuan hartuta, ondo uler daiteke arrantzaren kolapsoa gerta litekeela, klima-aldaketak ustiatzen den edozein arrain-espezieren eta bere bazkaren arteko desakoplamendua balekar.

Ingurune-aldaketen adierazlea

Planktonak Lurreko klima-sistemaren modulatzailerik gisa jokatu du eta funtsezkoa da itsas bazka-sareetan eta ekoizpenean, baina horretaz gain, inguruneke aldaketaren adierazle oso sentikorra ere bada, eta izan ere garrantzizko zehaztapenak ematen ditu itsas ekologia-osasunari buruz. Hori horrela da, planktonaren habitata, nitxo-egitura eta komunitate-jokabidea kanpotik eragindako etenaldi eta erregulazioaren menpe daudelako. Izan ere, plankton komunitatearen barne erregulazio edo autoerregulazio gaita-

suna klimak eragindako aldaketak indargabetzeko ahula da, lehorreko tamaina handiko landare eta animaliekin alderatuz gero [10].

Beraz, itsas zooplanktona, bere ezaugarri demografikoak direla medio, oso egokia da ekosistema-aldakortasunaren eragile diren mekanismoak aztertzeko, urtez urteko eta hamarkadaz hamarkadako denbora-eskaletan [11]. Izan ere, IPCC Fourth Assessment Report izenekoaren arabera [12], Ipar Atlantikoko planktonari buruzko emaitzak, klima-aldaketa itsasoan eragiten ari den inpaktuaren froga garrantzitsuenetarikoen artean daude nonbait [13].

KLIMA-ALDAKETAREN ITSAS PLANKTON-EKOSISTEMAN ERAGITEKO ERAK ETA ONDORIOAK

Berotze globalaren efektua

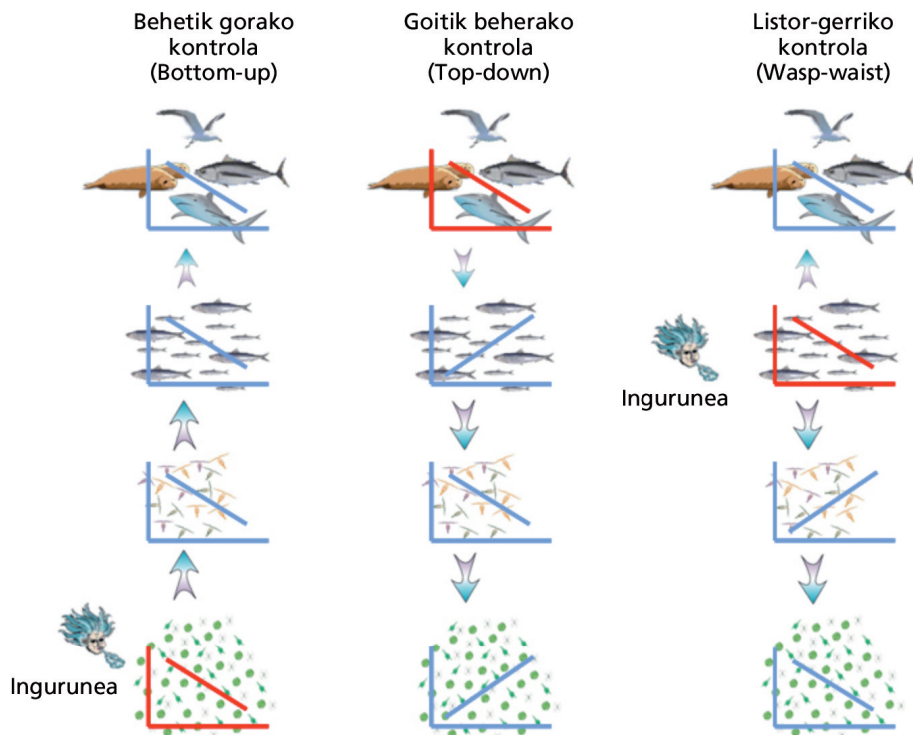
Ur-berotzearen ageriko efektuak dira ur hotzetako espezieen inhibizioa eta ur beroteko espezieen areagotzea. Horrek komunitate-egituran aldaketak eragiten ditu, bai espezieen arteko ugaritasun-erlazioak aldatzen direlako, bai espezieen ordezkapenak gertatzen direlako, batzuen agerpena eta beste batzuen desagertzearen ondorioz. Askotan gainera, espezieen konposizio-aldaketak organismoen tamaina-espektroaren aldaketak dakartza, komunitatearen energia-fluxuei eta ekoizpenari eraginez.

Plankton-ekosistemaren ekoizpenari dagokionean, espero da tenperatura-igoerak ozeanoko ur zutabeko estratifikazioa areagotzea (mailan zein iraupenean) [14]. Estratifikazioak sakoneko uretan metatzen diren mantengugai ezorganikoen azaleramendua galarazten duenez, estratifikazioaren areagotze horrek mantengugai-horniduraren murrizketa ekarriko luke geruza fotikoan, eta horren ondorioz, itsas ekoizpenaren gutxitzea.

Hori behetik gorako kontrolaren ondorioa da (2. irudia). Izan ere, fitoplanktonaren biomasa sortzeko gaitasuna murrizten bada, mantengugaien faltagatik, zooplanktonak bazka gutxiago izanen bide du, eta zooplanktonaren bazka-murrizketak efektu bera eragiten du bere kontsumitzaileetan eta gorago dauden maila trofiko guztietan. Horretaz gain, deskribatu da goitik beherako kontrola eta liztor-gerriko kontrola daudela, hau da, goi mailako harrapakariak eragindako kontrola eta espezie nagusiek eragindako kontrola hurrenez hurren. Kasu horietan, klima-aldaketak energia-fluxuetan nola eragiten duen ez dago hain argi, baina kontuan eduki behar da bi kontrol mota horiek esparru murriztagokoak direla, eta behetik gorako kontrola, berriz, nagusi dela itsas ekosistemetan [15].

Hala ere, berotzeak eragindako estratifikazioaren areagotzeak ez bide luke zertan plankton-sistema guztietan ekoizpenaren murrizketa ekarri. Kostaldeko hainbat sistematan, esaterako, ibaiek ekartzen dituzten mante-

Klima-aldaketa eta itsas plankton-ekosistema: inpaktua Ipar Atlantikoan eta Euskal kostaldean



2. irudia. Itsas bazka-sareen hiru kontrol-motak ([15]tik moldatua).

nugaiek baldintzatzen dute azaleko uretako ekoizpen primarioa, eta ez hondotik azalera daitezkeenek. Kasu horietan, ur-berotzeak eragin positiboa izan dezake sistemaren ekoizpenean, nahiz eta hainbat leku eutrofikotan gainekoizpenak dakartzan ondorio kaltegarriak areagotu daitezkeen.

Bestalde, klima-aldaketak plankton-ekoizpenaren bitartez ez ezik, planktonaren fenologian aldaketen bidez ere eragiten du goi mailako itsas kontsumitzaileetan. Izan ere, fitoplankton- eta zooplankton-espezieen urtaroko hazkuntza-zikloa klima-faktoreen urteko nahiz urtez urteko aldakortasunaren menpe dago, eta fenologia urteroko bizi-ziklo errepikakorren gertaerei dagokie. Beraz, oso garrantzitsua da klima-aldaketak populazioen hazkundearen hasierari eta hazkunde-periodoaren luzerari nola eragingo dieten jakitea, erlazio fenologikoen desakoplamenduak garrantzi handiko ondorioak ekar baititzake ekosistemaren funtzionamenduan. Izan ere, bazka-sarearen egitura itxuraldatu daiteke bazka-erlazioen bitartez.

Ikuspuntu ekonomikotik, kezka berezia sortu dute ustiatzen diren arrain sardetan klima-aldaketaren ondoriozko planktonaren aldaketa fenologikoen

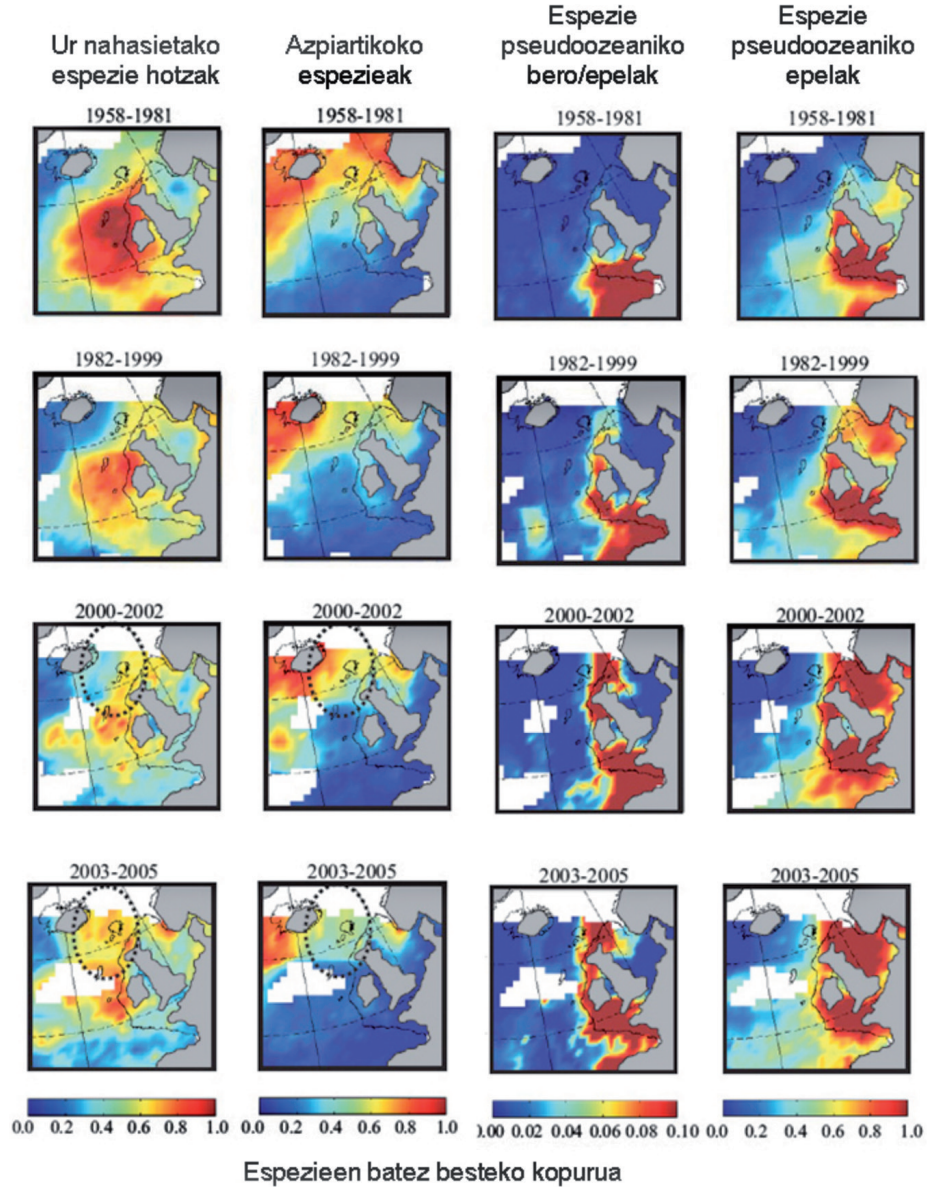
Adibidez, azken 50 urteotan nabaria izan da Ipar Atlantikoan foraminiferoen maiztasunen gorakada; hala ere, Hego Ozeanoan lortutako hainbat ebidentziak erakutsi dute foraminiferoen oskolen pisuak behera egin duela, sedimentu zaharragoetako erregistroekin alderatuz, eta badirudi erantzun honetan azidifikazioak zeregina duela [17]. Beraz, oraindik ez dugu ondo ulertzen ekosistema mailako azidifikazioaren efektua, baina lehentasun handikoa da ikerketarako gai zerrendan [18].

Euri/emarien aldaketak eta itsas mailaren igoera

Klima-aldaketaren bestelako ondorio aipagarri gisa baditugu prezipitazio-erregimenaren aldaketak eta itsas mailaren igoera, batez ere kostaldeko sistemei eta estuarioei eragingo dietenak. Hala ere, zaila da orokortzea eta aurreikustea zer nolako aldaketak sortuko dituzten plankton-ekosisteman, bien arteko elkarrekintzak hainbat emaitza ekar baititzake ingurune fisiko-kimikoan, baldin eta kostaldeko sistemen eta estuarioen tipologia (morfologia, tamaina, marea-erregimena) eta kokapen geografiko anitza kontuan hartzen bada. Prezipitazio-aldaketek ur gezako emarrietan eragiten dute, kantitatean zein urtaroko eremuan, eta itsas mailaren igoerak sistema pelagikoaren bolumena eta itsas ur-masen presentzia areagotzen ditu; honek guztiak sistemako uraren berriztatze tasa, zirkulazioa eta gazitasuna aldatzen ditu ondorioz. Izan ere, estuarioetako planktonaren ekoizpena eta populazioen iraupena zirkulazioaren eta uraren berriztatzearen menpean daude nagusiki [19], eta adibidez, behatu da klimak eragindako gazitasun-aldaketek txiki samarrak izan arren aldaketa bortitzak eragin ditzaketela kostaldeko hainbat sistematako zooplankton komunitatearen egitura [20].

IPAR ATLANTIKOKO PLANKTON-EKOSISTEMAN BEHATUTAKO ALDAKETAK

Berotze globalaren eragina ez da ozeano sistema guztietan berdin gertatzen ari, eta nabarmenagoa da Ipar Hemisferioan ($\Delta T^a = 0,62^\circ\text{C}$ 1900-1920 eta 1990-2007 bitartean) Hego Hemisferioan baino ($\Delta T^a = 0,59^\circ\text{C}$ 1900-1920 eta 1990-2007 bitartean) [12]. Beraz, klima-aldaketaren eragin handiena nozitzen ari den sistemen artean dago Ipar Atlantikoa, Bizkaiko Golkoa eta Euskal kostaldea barne. Era berean, Ipar Atlantikoko plankton-ekosistema da ikerketa jarrairik luzeena eta intentsiboena izan duen ozeano eremua, 2011n 80 urte bete izan dituen CPR (Continuous Plankton Recorder) programari esker batez ere. CPR programa honetako emaitzak eta Europako eta Ipar Amerikako Ipar Atlantikoko kostaldeetan azken hamarkadetan lortu diren plankton serieen emaitzak ere, informazio ugari eskaintzen ari dira itsas uretan eta planktonean gertatzen ari diren epe luzeako aldaketak identifikatzeko eta aldaketa horien kausa eta ondorioak ulertzeko. Horrela, agerian gelditu dira klima-aldaketaren eta plankton-



4. irudia. Zooplanktonaren iparralderantzako mugimendua Ipar-ekialdeko Atlantikoan 1958 eta 2005 artean ([21]tik moldatua).

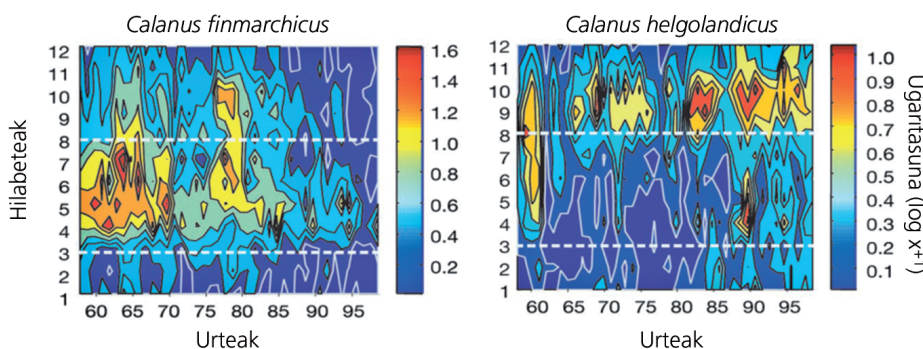
ekosistemaren aldaketaren arteko hainbat erlazio, besteak beste ezpezieen lekualdatzarekin, fitoplankton- eta zooplankton-ugaritasunarekin eta komunitate-egiturarekin zerikusia dutenak; era berean, eskura ditugu horien

ondorioak kate trofiko pelagikoan eta gizakiok ustiatzen ditugun goi mailako kontsumitzaileetan ere (arrain planktofagoetan zein iktiofagoetan).

Espezieen hedapena eta lekualdaketa

Espezieen iparralderantzako lekualdaketa da berotze globalak eragindako Ipar Atlantikoko organismoen gaineko efektu nabarienetariko bat. Ur beroetako ohiko zooplanktonak, esaterako, berebiziko lekualdaketa azkarra egin du Europako kostaldeko uretan zehar, Bizkaiko Golkoko hegoaldeko latitudetik Islandiaraino [21] (4. irudia). Izan ere, garai batean Bizkaiko Golkoan soilik topa zitekeen espezie multzo bat, egun Norvegiako mendebaldeko kostaraino heldu da. Ur hotzetako espezie adierazleek, berriz, behera egin dute, adibide deigarrienen artean hainbat kopepodo espezie daudelarik. Ur beroetako kopepodo multzoko partaide batzuk iparralderantz mugitu dira 1.100 km baino gehiago azken 50 urteetan [22]. Adibidez, Ipar Atlantikoaren berotze-adierazle baliagarritzat jo diren *Centropages chierchiae* eta *Temora stylifera* kopepodo-espezieak [23] Iberiar Penintsulako uretatik Mantxako Kanalera (latituden 6° inguru) mugitu dira 1970-1980 garaitik 1990 hamarkadara. Iparralderantzko hedapen hori eskualdeko ur-tenperaturaren 1°C-ko igoerarekin uztartu bada ere, neurri batean Europako plataformaren ertzean sortu den iparralderantzko korrante bortitzak ere azal dezake fenomenoak [5].

Espezieen hedapen latitudinalaren aldaketek espezie nagusien ordezkapena eta, era berean, bazka-sareen gaineko izugarritzako inpaktuak ekarri dituzte hainbat lekutan, bereziki Ipar Itsasoan [24], non agerian den *Calanus* generoko kopepodo-espezieen nagusitasun-ordezkapena, eta horren ondorioak goi mailako kontsumitzaileen populazioetan. Nagusitasuna *C. finmarchicus* hotz-epelzale espezieetik *C. helgolandicus* bero-epelzale espeziera aldatu da aurreko mendeko azken erdialdean, ordezkapen-abiadura azken hamarkadetan azkartuz doalarik (5. irudia). Oso espezie antzekoak



5. irudia. *Calanus finmarchicus*en eta *Calanus helgolandicus*en urtaroko eta urtez urteko ugartitasun-aldaketak Ipar Itsasoan 1958-1999 aldian. ([24]tik moldatua).

izan arren, temperaturarekiko nitxo desberdinak betetzen dituzte, eta Ipar Atlantikoan 10-11°C-ko isoterma *C. finmarchicus* kopepodo artiko-borealaren banaketa mugatzen du, probintzia biogeografiko nagusien adierazlea izanik [6].

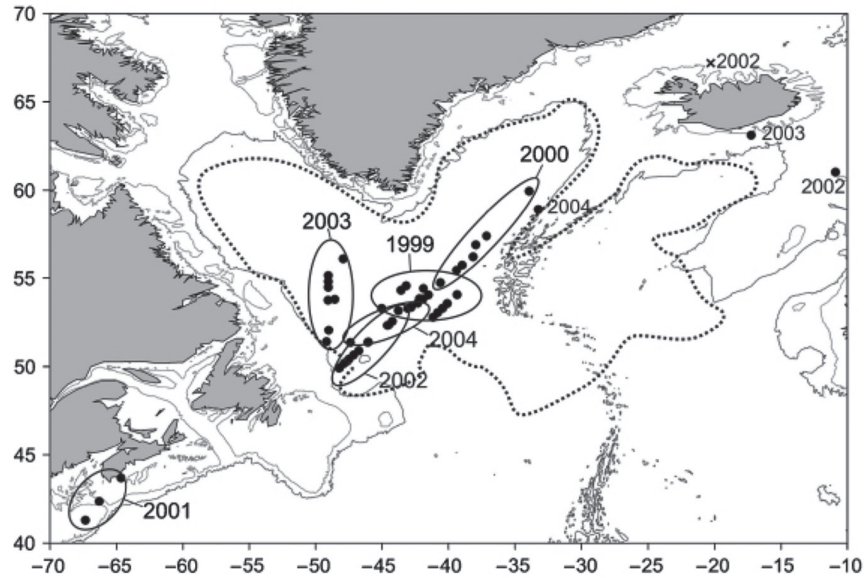
Arrain-espezieetan antzeko jokaera behatu da. Tropikoko zenbait arrain-espezie agertu dira Bizkaiko Golkoan, Europako kontinentearen plataforman zeharreko hedapen progresiboaren ondorioz [25], eta bestetik Ipar Itsasoan ere ur beroagoetako ohiko arrain-espezieek migratu egin dute progresiboki iparralderantz [26]. Ipar Itsasoan, hain zuzen, itsas uraren berotzeak hegoaldeko espezieak iparralderantz mugiarazi ditu 7 km urte⁻¹ 1990tik, 1996tik 20 arrain-espezie berri aurkitu izan direlarik Islandia inguruko uretan. Era berean, azken urteotan sardinzar stockek atzera jo dute Ferroe eta Islandiako uretarantz, eta bakailaoenak, berriz, hazten ari dira Groenlandiako uretan [18]. Mihiarrain arrunta da Ipar Itsasotik migratzen ari den beste espezie bat, ekonomiaren aldetik baliotsua; klimatologoek Ipar Itsasorako iragartzen duten 1-2,5°C-ko igoera 2050rerako gauzatzen bada, mihiarraina zein bakailaoa desagertzeko arriskuan leudeke adituen arabera, hango ekonomian ondorio latzak izanen liratekeelarik [18].

Klima-aldaketaren ondorioz Artikoa zehar gertatzen den Ipar Atlantikoaren eta Ipar Ozeano Barearen arteko plankton-espezieen elkartrukeak berebiziko garrantzia dauka. Horren ebidentzia da Ozeano Barean jatorria duen *Neodenticula seminae* diatomeoa ugari agertu izana Labrador Itsasoan 1999an [27] eta bere ondorengo hedapena (6. irudia). Hori dela-eta, uste dute hurrengo 100 urteetan nabarmen areagotuko direla Ozeano Baretik Atlantikorako migrazioak, Artikoa zehar batez ere, bi ozeanoen arteko hesi naturala den Artikoko izotz geruzak urtzen jarraitzen badu [28].

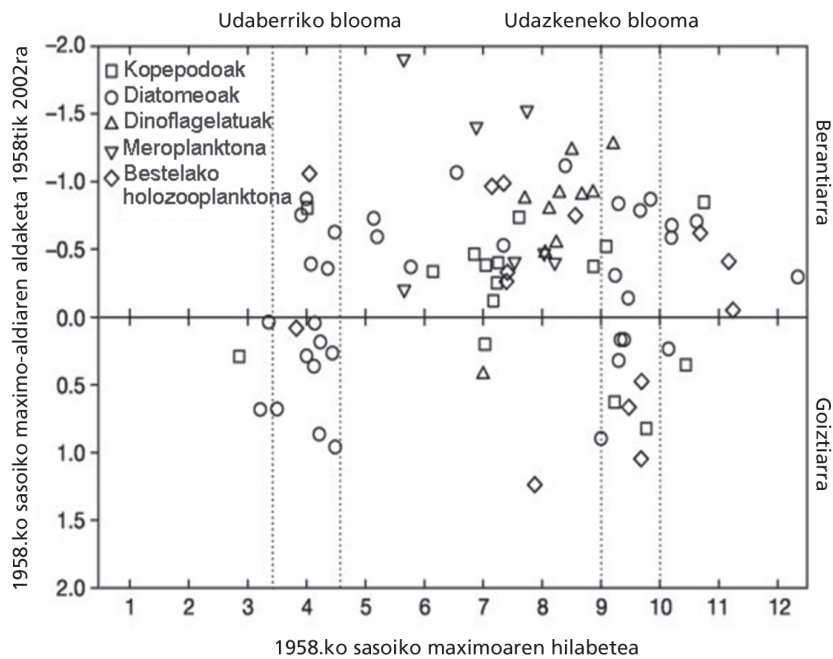
Aldaketa fenologikoak

Horretaz gain, planktonaren iparralderantzako mugimendua eta banaketa-aldaketa biogeografikoa bat etorri dira zenbait espezieren aldaketa fenologikoekin. 1958-2002 aldian Ipar Itsasoko erdialdean hartutako CPR programako planktonaren datuek erakutsi dute hainbat espeziek berotzearekin uztarturiko aldaketa fenologiko nabarmenak pairatu dituztela, eta beste batzuek, berriz ez dutela horrelakorik jasan [16]. Adibidez, *Ceratium fusus* dinoflagelatuak, urteko ziklo unimodala erakusten duelarik, nabarmenki aurreratatu zuen urtaroko maximoaren aldia (1-2 hilabete lehenago). *Cylindrotheca closterium* diatomeo espezie bimodalak ordea, urteko bi maximoen aldiak mantendu zituen urtez urte aldaketa nabarmenik gabe. Urtaroko aurrerapenak, atzerapenak edo aldaketarik eza bezalako erantzun fenologiko anitzak aurkitu zituen lan honek, dinoflagelatueta eta diatomeoetan ez ezik, kopepodo espezieetan, beste talde holoplanktoniko batzuetan eta talde meroplanktonikoetan ere (7. irudia).

Klima-aldaketa eta itsas plankton-ekosistema: inpaktua Ipar Atlantikoan eta Euskal kostaldean

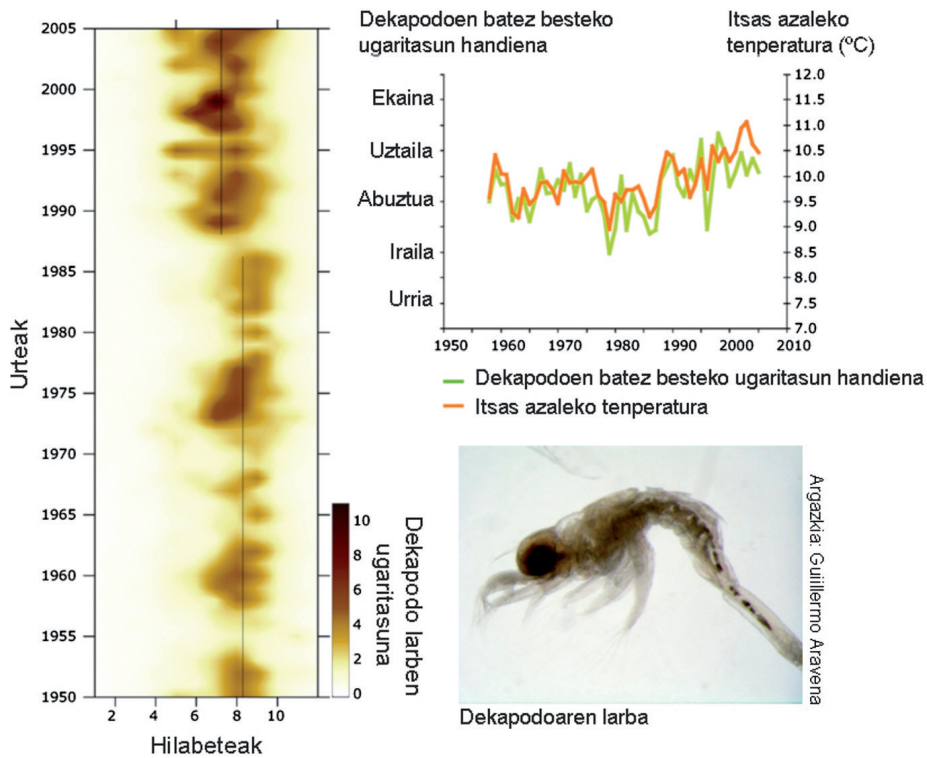


6. irudia. Ozeano Bareko *Neodenticula seminae* diatomeoaren banaketa Atlantikoan, 1999an lehenbizikoz antzeman zenetik (Iturria: [27]).



7. irudia. 66 plankton taxoiaren sasoiko maximo-aldiaren aldaketa Ipar Itsasoko erdialdean 1958tik 2002ra, 1958ko sasoiko maximoarekiko irudikatua. ([16]tik moldatua).

Ipar Itsasoaren hegoaldean egindako denbora serieetan oinarrituta, ne-
gu-udaberriko azaleko tenperaturaren igoerari eta udazkeneko kopepodo
ugaritasunaren jaitsierari lotutako aldaketa fenologikoak aurkitu dira bi
ktenofo-ro-espezie garrantzitsuren populazio-loraketetan [29]. Azken er-
lazio horrek, ktenofo-roek kopepodoen gainean eragiten duten harrapaka-
ritza-presioaren ondorioa izan litekeenak, eragin negatiboa izango luke
bazka-sarean gorago dauden arrainetan, ktenofo-roek kontsumitutakoa
arrainentzat bazka-katearen bukaera hil bat delako [29]. Aipagarriak dira
era berean meroplanktonaren hainbat taldek erakutsitako aldaketa fenolo-
gikoak. Adibidez, dekapodoen larbek (8. irudia) eta ekinodermatuen lar-
bek 1980. hamarkadako amaieratik aurrera urtaroko zikloa 4-6 aste aurre-
ratu zuten seriearen aurreko urteetan behatutakoarekin erkatuz; aldaketa
horrek itsas azaleko tenperaturarekin oso koerlazio esangarria erakutsi
zuen [6] [16].



8. irudia. Dekapodo-larben urtaroko eta urtez urteko aldakortasuna Ipar Itsasoko erdialdean 1950-2000 aldian (ezkerrean) eta beraien erlazioa itsas azaleko tenperaturarekin (eskuinean) (Iturria: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/decapod-abundance-in-the-central-north-sea-1950-2005/figure-5-22-climate-change-2008-decapod-abundance.eps>).

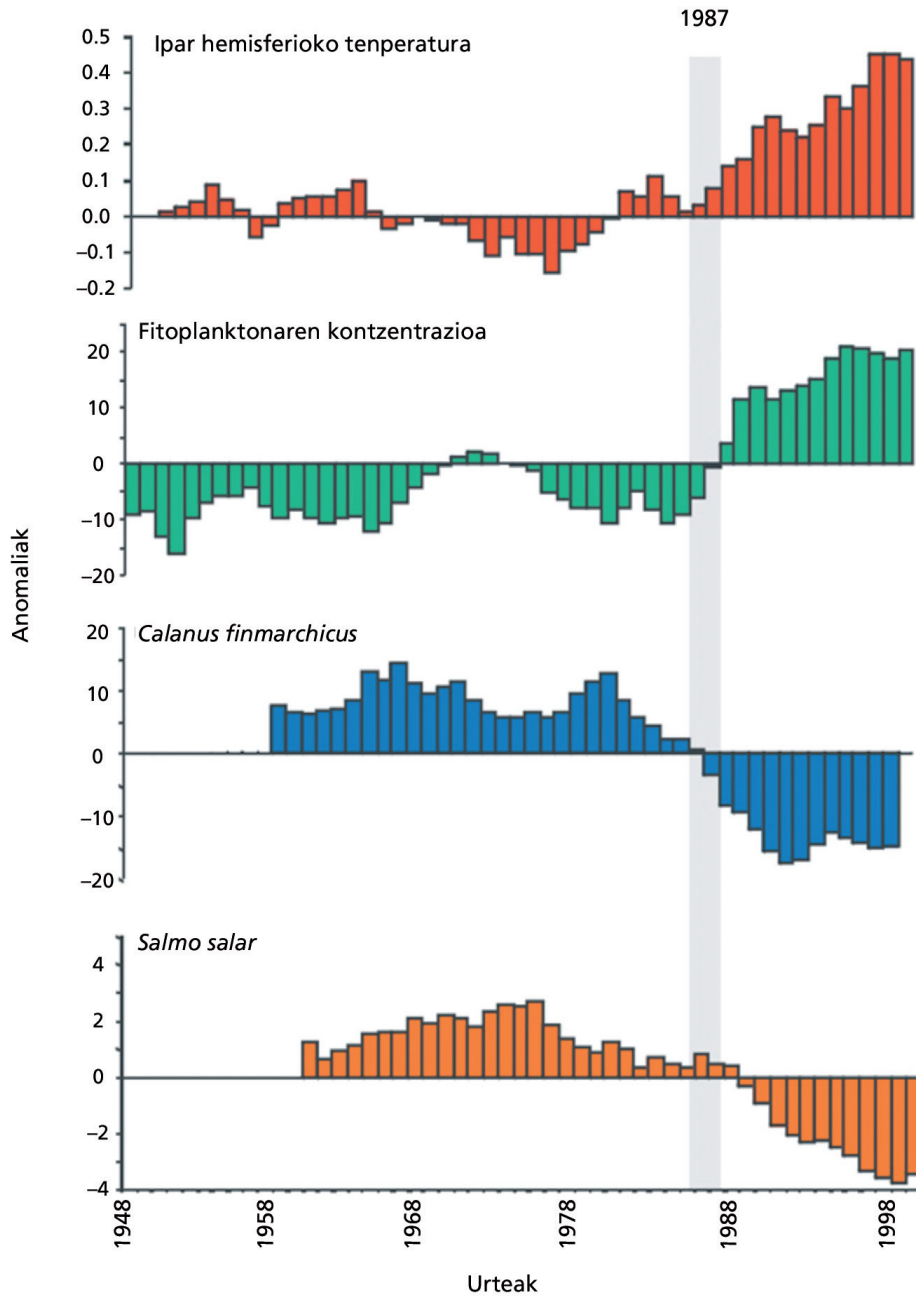
Orokorrean, plankton-ekoizpenaren urtaroko zikloa aldatu bide da gertatzen ari den klima-aldaketaren eraginagatik. Izan ere, hainbat espezierena duela 20 urte baino 4-6 aste lehenago agertu da egun, eta horrek ondorioak dakartza arraintzat eta beste kontsumitzaileentzat bazka-eskuragarritasunean [30]. Berotze globalari emandako erantzuna talde funtzionalen artean eta maila trofikoen artean desberdina izan denez, harrapakari-harrapakin erlazioan desakoplamendua gertatu izan bide da [31].

Ugaritasunaren, biomasaren eta komunitate-egituraren aldaketak

Ipar Hemisferioan, oro har, XX. mendeko azken erdialdean behaturiko tenperaturaren epe luzerako bilakaerak goranzko joera nabaria erakutsi du 80ko hamarkadatik aurrera. Temperatura-igoera horrek isla argia izan du fitoplanktonaren eta hainbat zooplankton eta arrain-espezie gakoaren bila-kaeran, hauek kontrako joerak erakutsi baitituzte [32]. Adibidez, fitoplanktonaren kontzentrazioak ageriko gorakada erakutsi du tenperaturarekin batera, eta *Calanus finmarchicus* kopepodo subartikoak eta izokinak (*Salmo salar*) berriz, alderantzizko joera (9. irudia).

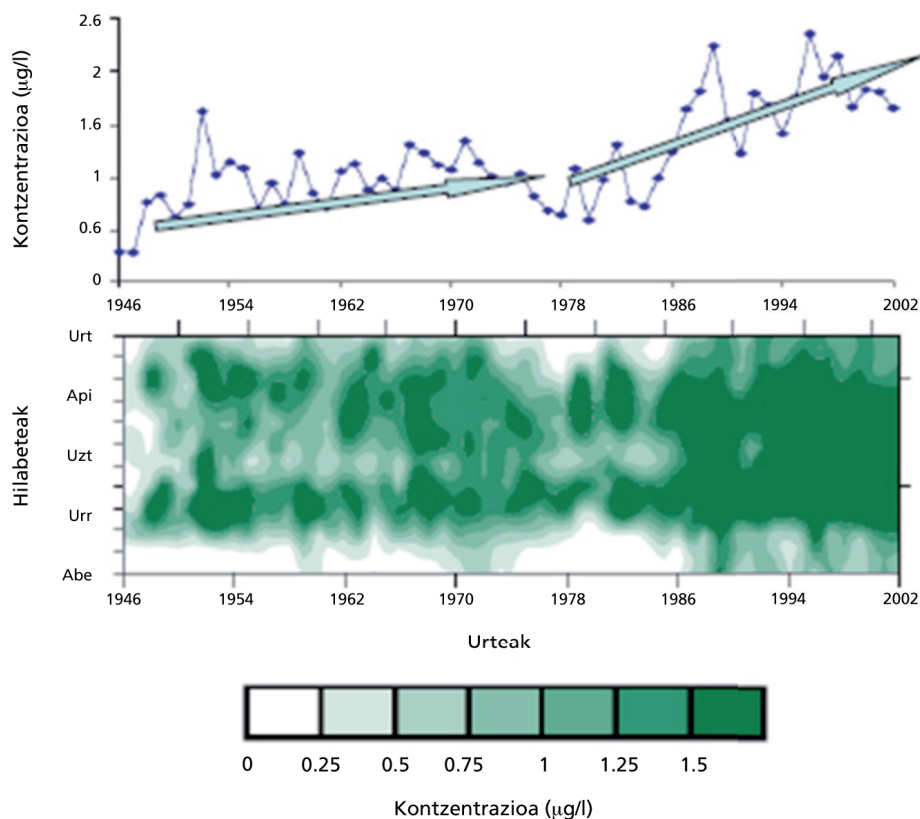
Ipar Atlantikoan eskualdeka ikertuta, ordea, tokian tokiko desberdintasunak behatu izan dira tenperatura eta fitoplanktonaren arteko erlazioetan, baita fitoplankton eta zooplanktonaren artean ere. Richardson eta Schoemanen lanaren arabera [33], 1958 eta 2002 bitartean, itsas azaleko tenperaturaren igoerarekin batera fitoplankton-ugaritasuna handiagotu egin zen Ipar-ekialdeko Atlantikoko eskualde hotzetan, baina murriztu egin zen eskualde beroetan, tenperaturak biotaren gainean zuzenean ez ezik, zeharka ere eragiten duelako prozesu fisikoen eta komunitatearen egitura-aldaketen bitartez. Horretaz gain, fitoplankton-ugaritasunaren eta kopepodo herbiboroen arteko erlazio positiboek eta azken horien eta zooplankton karniboroaren arteko erlazio positiboek, iradoki zuten behetik gorako kontrola dagoela lehen eta bigarren mailako kontsumitzaileentzat. Pentsa daiteke beraz klima-aldaketak fitoplanktonari eraginez goragoko maila trofikoetan ere inpaktua izan dezakeela [33].

Ipar Atlantiko osoa kontuan hartuta [6], fitoplankton-biomasak gorakada nabarmena erakutsi du 1980ko hamarkadaren azken alditik, zonalde gehienetan, baina, batez ere, Ipar Ekialdeko Atlantikoan. Zooplankton-biomasaren ordea, seriearen batez bestekoaren azpitik agertu zen ekialdeko Ipar Atlantikoko zonalde gehienetan (bereziki Ipar Itsasoko hegoaldean), baina nabarmen igo zen mendebaldeko Ipar Atlantikoko zenbait zonaldeetan. Bestalde, 70. hamarkadaren bukaeran Ipar Itsasoko fitoplankton-biomasaren hazkunde tasa igotzeaz gain, hazkuntza aldia ere luzatu egin zen [28] (10. irudia). Horrekin batera behatu diren planktonaren konposizio- eta banaketa-aldaketak, bai eta beste aldaketa ekologiko batzuk, «erregimen-aldaketa» gisa ere ulertu dira eta ozeano-arro mailan berotze globalari eman zaion erantzuna izan daitekeela uste da [18].



9. irudia. Ipar hemisferioko tenperaturaren eta Ipar-ekialdeko Atlantikoko fitoplankton-kontzentrazioaren, *Calanus finmarchicus*en ugaritasunaren eta izokin helduen dentsitate-bilakaerak, epe luzerako anomalien aldakortasun gisa erakutsita ([52]tik moldatua).

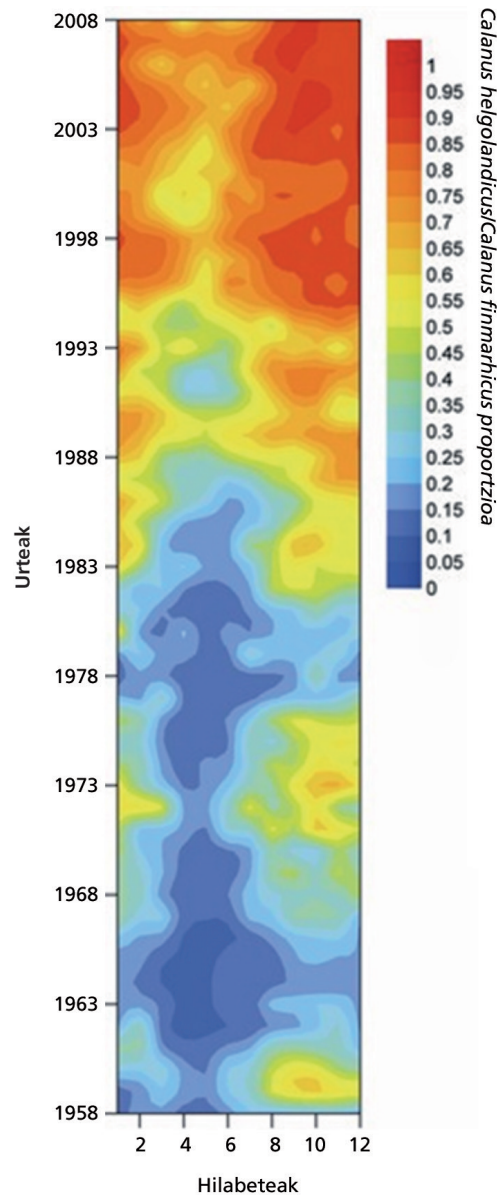
*Klima-aldaketa eta itsas plankton-ekosistema:
inpaktua Ipar Atlantikoan eta Euskal kostaldean*



10. irudia. Ipar Itsasoko fitoplanktonaren urteko batez besteko klorofila-kontzentrazioa ($\mu\text{g/l}$) (goian) eta hilabetez hilabetezko emaitzak (behean), 1946tik 2002ra arte ([53]tik moldatua).

Berotze globalarekin gertatuko bide diren dibertsitate- eta konposizio-aldaketak ere deskribatu dira [32]. Adibidez, diatomeoen dibertsitatea murriztu egingo da, baina kopepodo eta dinoflagelatuena handitu egingo da, hainbat dinoflagelatu, *Alexandrium minutum* edo *Gonyaulax* generokoak kasu, oso toxikoak izan daitezkeelarik. Plankton-dibertsitatearen igotzearekin batera gertaturiko kopepodoen batez besteko tamainaren txikiagotzeak ekosistema-metabolismoaren gorakada eta ozeano azaletik hondorutzen den karbonoaren esportazio potentzialaren murrizketa ekarriko lituzke. Era berean, zooplankton-dibertsitatearen igoerak eta tamainaren txikiagotzeak baskailoa bezalako arrain subartikoen presentziarekin erlazio negatiboa erakutsi dute, horrek arrain horien gainustiaketa ondoak areagotu dituelarik. Zehazki, arraintzat bazka diren kopepodoen txikiagotze horretan ekarpen handia egin du *Calanus* generoko espezie gakoen arteko ordezkapenak. Izan ere, Ipar Itsasoan, *C. helgolandicus* aurreko mendeko 60. hamarkadako

hasieran ~ % 20 izatetik mende bukaeran ~ % 70 izatera heldu zen, *C. finmarchicus*en kaltetan (11. irudia), lehenengoa bigarrena baino txikiagoa delarik.



11. irudia. Ur epeletako *Calanus helgolandicus* eta ur hotzetako *Calanus finmarchicus* kopepodo-espezieen arteko proportzioaren hilez-hileko aldaketa Ipar Itsasoan, 1958tik 2008ra arte (Iturria: <http://www.sahfos.ac.uk/research/macroecology-and-climate-change-impacts/northward-shifts.aspx>).

Aipatzekoak dira era berean, 1988-2007 aldian Mendebaldeko Kanalean (Western Channel) gertatu ziren epe luzerako zooplanktonaren espezie-aberastasunaren igoera eta zenbait espezieren ugartasun-aldaketa kontrajarriak itsas azaleko tenperatura-aldaketei lotuta. Izan ere, *Calanus helgolandicus*en, *Oncaea* spp.en, zirripedio-larben, eta ketognatuen ugartasunak handiagotu egin ziren, baina murriztu egin ziren berriz *Pseudocalanus elongatus*en, *Ctenocalanus vanusen*, *Temora longicornisen*, *Acartia clausiren*, *Evadne nordmanniren*, *Podon* spp.en eta apendikularioen ugartasunak [34].

Oro har, emaitzek argi erakusten dute Ipar-ekialdeko Atlantikoan zooplanktona iparralderantz mugitzen ari dela eta bere biodibertsitatea handiagotzen ari dela. Beraz, zonalde horretan berotze globalak dibertsitatea areagotuko luke, baina ikuspuntu ekonomikotik inpaktua kaltegarria litzateke, dibertsitateak eta ekoizpenak kontrako joera dutelako eta horrek sistemaren jasate-gaitasunaren gainbehera ekarriko lukeelako [6].

Fitoplankton konposizioari dagokionez, arreta berezia ipini da alga kaltegarrien eta klima-aldaketaren arteko erlazioa aztertzeko ikerketetan. Dirudenez, azken urteotan, alga kaltegarrien loraketak eskala globalean hedatzen ari dira, baina horren kausak oraindik erabat garbi ez badaude ere, klima-aldaketarekin eta berarekin batera itsasoan gertatzen diren efektuekin uztar daitezke [10]. Eskualde eskalan, kostaldeko sistemak itsaso zabalekoak baino sentikorragoak dira eta fitoplanktonaren joerak, oro har, aldaketa hidroklimatiko eta ekarpen antropogenikoaren (alegia, eutrofizazioa dakarrenaren) elkarrekintzaren ondorioa dira. Hori dela-eta, klima-aldaketak alga kaltegarrien arazoa larriagotuko luke, bereziki eutrofia pairatzen duten kostaldeko eremuetan.

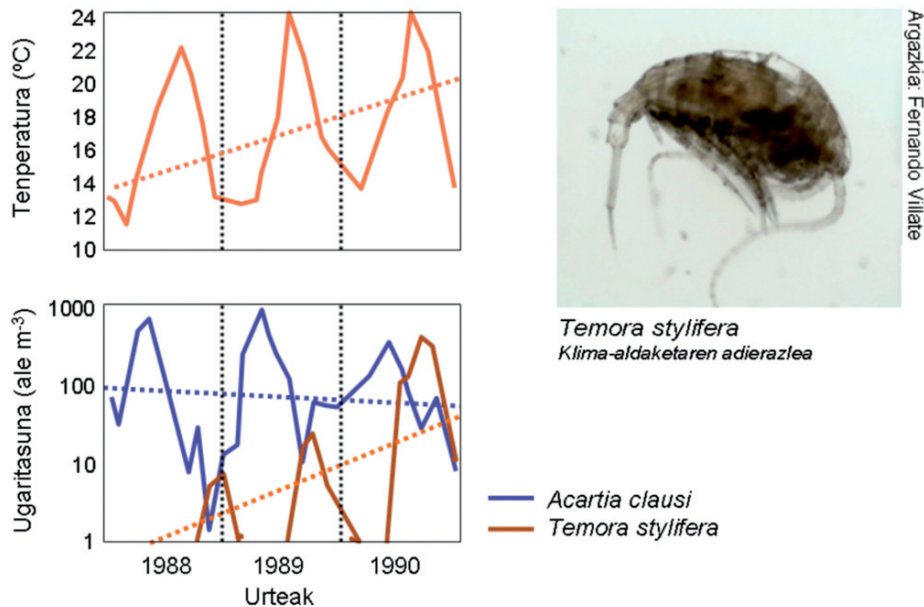
Karbono-fluxuak

Ur zutabeko estratifikazioaren areagotzea dela-eta, eredu geokimikoek karbono-hondoratzearen murrizketa iragartzen dute Atlantikoan eta, era berean, horren eragina ziklo biogeokimikoetan [14] [35]. Hala ere, oraindik zaila da ozeanoan tenperatura-igoeraren ondoriozko karbono-fluxuen aldaketak kalkulatzeko [32].

EUSKAL KOSTALDE ETA ESTUARIOETAKO EBIDENTZIAK

Ipar-ekialdeko Atlantikoan planktonari buruz egin zen epe luzerako (1980 eta 1994 bitartean) ikerketa baten arabera [36], apalagoak dira urtez urteko planktonaren aldaketak, Bizkaiko Golkoan Mantxako Kanalean eta Zelta Itsasoan baino. Hau, Ipar Atlantikoan NAOk (North Atlantic Oscillation) klimatologian eragiten duen era bipolarrarekin uztar daiteke. Izan

ere, Bizkaiko Golkoko hegoaldea eta Iberiar penintsulako iparraldea kokatzen dira gune neutro batean NAOk eragindako klimatologia-aldaketa bortitzeneko iparraldeko eta hegoaldeko noduluen artean. Hala ere, azken hiru hamarkadotan bildutako Euskal Kostaldeko planktonari buruzko informazioak agerian utzi du klima-aldaketarekin uztar daitezkeen zenbait plankton-aldaketa. Zooplankton konposizioari dagokionean, ur beroetako *Temora stylifera* kopepodoa ez zen topatu 70. hamarkadaren azken erdialdean ez eta 80. hamarkadaren hasieran ere, ez plataforman ez eta estuarioetan egin ziren ikerketetan, [37] [38] [39] [40]. Hala ere, 1988-1990 urteetan Gipuzkoako plataforman egindako ikerketa batean agertu zen, bere populazio-ugaritasuna eta urtean zeharreko iraunaldia urtez urte areagotu egin zirelarik, tenperatura-igoerarekin batera (12. irudia) [41]. Geroztik, eta 1996an Bilboko eta Urdaibaiko (Mundakako) estuarioetan zooplankton serieak hasi zirenetik, *T. stylifera* iraun du zooplanktonaren komunitate neritikoan, tenperaturari lotutako urtez urteko gorabeherak erakutsita. *Oithona brevicornis* eta *Acartia tonsa* ur beroetako kopepodoak izan dira azken urteotako beste espezie batzuen agerpen esanguratsuak. Agertu zirenetik, 2000-2002 alditik alegia, estuarioetako barnealdean ezarri dira. Bilboko estuarioan, gainera, frogatu da *A. tonsa* urtez urteko populazio-dinamika tenperaturak bultzatzen duela, eta era berean, eragin negatiboa

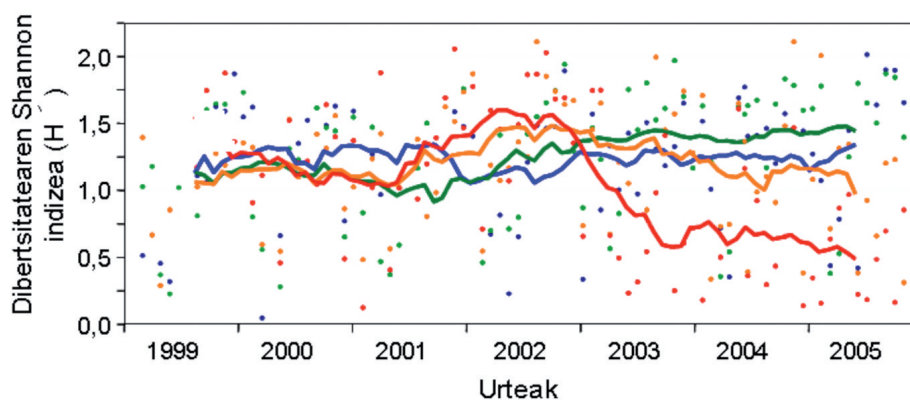


12. irudia. *Temora stylifera* espezie termofiloaren eta *Acartia clausi* espezie epelzalearen ugaritasun-aldaketak Gipuzkoako plataforman 1988 eta 1990 bitartean ur tenperaturaren aldakortasunarekin erlazionatuta ([41]tik moldatua).

duela ur hotzagoko *Acartia clausi* espeziean, bien arteko banaketa-lehiaren ondorioz [42].

Zooplankton-dibertsitatearen aldaketaz ez dago informazio zehatzik oraindik Euskal Kostaldean, baina beheranzko joera behatu zen kopepodoen dibertsitatean gertu dagoen Kantabriako kostaldeko zooplankton neritikoan 1992-1996 aldian; hau bat zetorren estratifikazioaren areagotze-joerarekin [43].

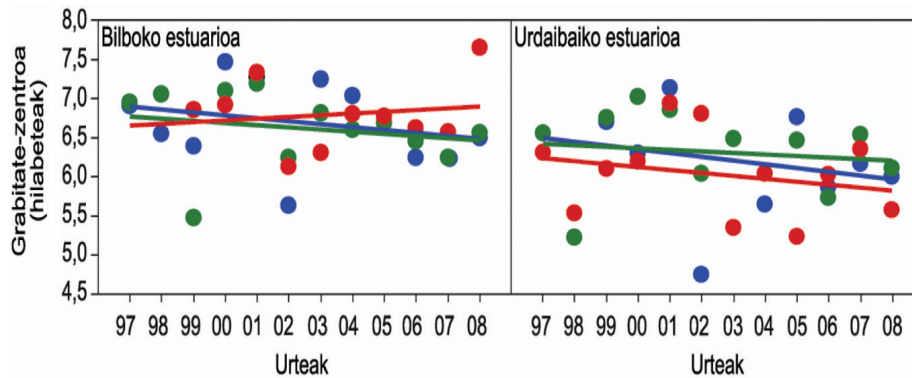
Euskal Kostaldeko estuarioetan, Bilboko eta Urdaibaiko estuarioetako zooplankton serieen emaitzei erreparatuz, esan daiteke kopepodoen dibertsitateak hainbat joera erakutsi dituela estuarioaren eta gazitasuneremua-aren arabera. Izan ere, Bilboko estuarioan udazken-neguko emarien jaitsiera (2001-2002 aldian) eta udako tenperaturaren jaitsiera (2002 urtean) barne estuarioko kopepodoen dibertsitate-handiagotzearekin batera gertatu dira; *A. tonsaren* agerpena (2003 urtetik) eta udako tenperaturaren igoera ordea, kopepodoen dibertsitate-jaitsierarekin uztartu dira (13. irudia).



13. irudia. Kopepodoen dibertsitatea (Shannon indizea) Bilboko estuarioko hainbat gazitasun-eremutan (urdina: 35, berdea: 34, laranja: 33, gorria: 30) 1999 eta 2005 bitartean.

Aldaketa fenologikoei dagokienez, Bilboko eta Urdaibaiko fitoplanktonaren balizko aldaketa fenologikoen ikerketak hasiak dira eta egungo emaitzek aditzera eman dute bi estuarioetako eremu euhalinoan (≥ 30 gazitasuna) 1997-2008 aldian biomasaren urtaroko zikloak aurreratzeko joera izan duela (14. irudia), baina informazio gehiago eskuratu beharko da hurrengo urteetan joera hori ontzat hartu ahal izateko.

Bilboko eta Urdaibaiko plankton serieak, klima-aldaketarekin uztartutako joera argiak ikusi ahal izateko oraindik laburrak badira ere, aukera ematen ari dira plankton-ekosistemaren hainbat faktore fisiko, kimiko eta



14. irudia. Fitoplankton-biomasaren urteko grabitate-zentroa (hilabeteak) Bilboko eta Urdaibaiko estuarioetako hainbat gazitasun-eremutan (urdina: 35, berdea: 33, gorria: 30) 1997 eta 2008 bitartean.

biologikotan tenperatura-igotzeak izan dezakeen eragina ikertzeko. Adibidez, emaitzen arabera, aire-tenperaturaren igoerak ur-tenperaturaren aldaketa handiagoak lekarke Urdaibaiko estuarioan Bilbokoan baino, eta bietan barne aldean kanpo aldean baino [42]. Tenperatura-igoeraren eragina oxigeno disolbatuan are eta modu ezberdina islatuko litzateke estuarioen artean eta estuarioko eremuen artean. Emaitzen arabera, Urdaibaiko estuarioan tenperaturak ez bide du eragin nabarmenik oxigeno disolbatuaren dinamikan kanpoaldeko uretan; Bilboko estuarioan berriz, eragin positibo esangarria du kanpoko uretan baina negatiboa haloklina azpiko barneko uretan [44]. Fitoplankton-biomasari dagokionean, tenperaturak eragin positiboa erakutsi du fitoplankton-biomasan Urdaibaiko estuarioko barnealdean (hain zuzen mantenugaien kontzentrazioak altuak diren gunean), baina ez kanpoaldean, non mantenugaiak baldintzatzen duten ekoizpen primarioa udan [45]. Bilboko estuarioan aldiz, mantenugaien kontzentrazioak Urdaibaiko estuarioan baino altuagoak badira ere, ez da oraindik erlazio esangarririk aurkitu tenperaturaren eta fitoplankton-biomasaren artean, eta erlazio esangarririk agerikoa ez izana, Bilboko estuarioa azken urteotan pairatzen ari den ingurune-aldaketa antropogenikoen eraginari eagozten zaio. Horrek guztiak aditzera ematen du berotzearen inpaktua desberdina eta anitza izan daitekeela estuarioetako plankton-ekosistemetan. Izan ere, beste faktore eragile asko egon daitezke, tokian tokiko inpaktu antropogenikoak barne, eta bat dator literaturan plazaraturiko klima-aldaketari emandako erantzuna aditzeko estuarioetan gertatzen den konplexutasunarekin [50].

HAUSNARKETAK ETA ERRONKAK

Denbora serieak

Klima-aldaketa eta bere ekosistemen gaineko ondorioak gauzatzen diren denbora eskalak kontuan hartuta, epe luzerako datu serieak ezinbestekoak dira fenomeno hau behar bezala ikertzeko. Orokorrean, aintzat hartu da ordea klima-aldaketaren planktonaren gaineko eragina oraindik gutxi ikertuta dagoela, batez ere, denbora serie biologiko nahikorik ez dagoelako [46]. Ozeano mailan, eremu geografiko ikertuena Ipar Atlantikoa da, CPR egitasmoari esker, baina ozeano osoaren zatitxo bat baino ez da hori, eta biosfera mailan irudi osatuagoa eduki ahal izateko ezinbestekotzat hartzen da ikerketa mota horiek zabaltzea Ozeano Barera eta Hego Hemisferiora, batez ere.

Bestela ere, egungo plankton serieak ez dira behar bezain luzeak eta esparru hau gehiago jorratu behar da hurrengo urteetan. Zenbaiten ustez, orain arte denbora serieetan oinarritutako ikerketa gehienetan ez da erraza bereiztea tenperaturarekiko behatutako aldaketak joera dekadalen, multi-dekadalen edo epe luzerakoen parte diren, 1960 baino lehenagoko informazio historikoak urriak baitira ikertutako eskualdean [18]. Denbora serie gehienak nahiko berriak dira, 80 eta 90 hamarkadetan hasiak, hain zuzen. Gainera luzeak zein berrienak mantentzeko ezinbestekoak dira finantzaketa- eta ikertzaile-eraberritze jarraiak, erakunde eta gobernuen aldetik epe luzerako konpromisoa beharrezkoa delarik. Ez dira gutxi azken urteotan bertan behera edo geldirik geratu direnak finantzaketa falta dela-eta.

Eredu fisikoak, ekosistemikoak eta biologikoak

Klima-aldaketaren ikerkuntzaren esparruan beste erronka zientifiko garrantzitsua moldatze-planak garatu ahal izateko aurreikuspenak egin ahal izatea da. Gaur egun-ordea, badaude oraindik zenbait zalantza klima eta ozeano-lasterren gaurko sistema eta gerorako iragarpenak ulertzeko, bai eta eremu ikertuena den Ipar Atlantikoan ere. Informatika ereduak hobetzeko beharrea gaude diseinuan zein konputagailu-baliabideetan. Bestalde, klima/ozeanografia eredu fisikoak azkar hobetzen ari diren arren, oraindik falta da ekosistema ereduak txertatzea, eta eredu biologikoetan denbora-bereizmena ere hobetu behar da, ekosistema ereduetan txertatzeko [18]. Horregatik, funtsezkoa da sistema biologikoen jarraipena egiteko bitartekoak garatzea, detekzio eta modelizazio baliabide matematikoekin batera aldaketak iragarri ahal izateko. Hurbilketa makroekosistemikoak eta bioklimatologikoak dira oraingoz anbiguitate gutxienerako emaitzak eskain ditzaketanak [32].

ECOHAM ereduak da Arlo horretan azken urteotan egiten ari diren ahalginen adibide esanguratsu bat, Hanburgoko Unibertsitateko Ozeanogra-

fia Institutuan garatu dena. Lehenengo eredua (ECOHAM1) fitoplanktonaren urteko eta epe luzerako dinamika azaleko itsasoetan kalkulatzeko garatu zen, hiru dimentsioko ingurune fisikoetan; lehenbizikoz Ipar Itsasorako erabili izan zen [47]. ECOHAM2 eredu aurreratuagoak, karbono eta nitrogenoen zikloak simulatzeaz gain, zooplankton-espezie gako baten populazio-dinamika gehitzen du. Azpimarratzekoa da duela gutxi Ipar Itsasoan nagusi den *Pseudocalanus elongatus* kopepodoaren hazkuntza tasan klima-aldaketak izan lezakeen inpaktua konputatzeko egin den ahalegina, IPCCko itsas azaleko tenperaturaren proiektzioak, argitaratutako klorofilaren landa-datuak eta tenperaturaren eta bazkaren araberrako bizi-historiaren parametroei buruzko laborategi-datuak erabiliz [48].

Tokian tokiko aldaketa antropogenikoekiko elkarrekintza

Kostaldeko itsas sistemek klima-aldaketarekiko oso sentikortasun handia erakusten dute, baina sistema hauetan, bereziki, klima-aldaketak, beste presio antropogenikoekin batera, jardun dezake ekosistemen funtzionamendua eta estatusa aldatzeko [49]. Klima-aldaketak berak baditu jada ondorio anitz eta elkarrekintzazkoak kostaldeko ekosistemetan eta bereziki estuarioetan, berotzearen efektuaz batera, itsas maila igoeraren, ur gezetako emarien, ekaitzen eta kostaldeko ur-lasterren inpaktua jasaten baitute. Horretaz gain, xx. mendetik estuarioak aurrekaririk gabeko aldaketa antropogenikoak pairatu behar izan dituzte; gaur egun klima-aldaketarekiko elkarrekintzan plankton-ekosisteman era anitzetan eragiten dute aldaketa horiek [50]. Izan ere, estuarioetan urtaroko ereduak anitzak dira oso, bai estuarioen artean bai estuario barruan, lehorreko eta ozeanoetako urtaroko zikloekin alderatuz. Azken horietan, esaterako, estuarioetan ez bezala, ekoizle primarioen urtaroko zikloak sasoiz sasoiko fluktuazio errepikakorak eta sinkronikoak dira eremu geografiko zabaletan. Hau horrela izanik, kezka da nola lor daitezkeen klima-aldaketaren seinaleak planktonaren behaketatik kostaldeko sistemetan, baldin eta tokian tokiko prozesuek klima-aldaketari emandako erantzuna moztarotuz ahal badute [51]. Horregatik, hain zuzen, estuarioetan ingurune- eta plankton-aldaketak aurreikusi eta kudeatu nahi badira, ezinbestekoa da tokian tokiko epe-luzerako ikerketa egitasmoak garatzea.

Ondorioa

Egun ikusitakoa ikusita, segurutzat jotzen da etorkizuneko berotze globalak itsas ekoizpen primarioaren eta sekundarioaren banaketa geografikoa aldatuko duela. Horrek ekosistemaren onuretan eragingo du zalantza barik, besteak beste oxigenoaren ekoizpenean, karbonoaren bahiketean eta ziklo biogeokimikoetan. Horrela, susmatzen da aldaketa hauek larritasun gehigarria suerta daitezkeela jada murriztuta egon daitezkeen arrain erre-

serbentzat, eta era berean ondorioak izan dezakete itsas ugaztun eta hegaztientzat [6].

Beraz, argi dago lanean jarraitu behar dela klima-aldaketak plankton-ekosistemetan, eta oro har sistema biologikoen eta ekologikoen aldaketetan nola jokatzeko duen antzemateko, hobeto ulertzeko eta aurreikusteko; areago, argi dago helburu horiek lortu nahi badira premiazkoa dela monitorizazio sistemak, adierazleak eta estatistika- zein matematika-tresnak garatzea.

ESKER ONAK

Egileok eskertzen diegu begirale teknikoari eta hizkuntza-aholkulariari egindako lana. Aldi berean eskerrak eman nahi dizkiogu Euskal Herriko Unibertsitateari (UPV/EHU) lan hau garatzeko emandako laguntzagatik (UFI 11/37).

ERREFERENTZIAK

- [1] LEVITUS, S.; ANTONOV, J.I.; WANG, J.; DELWORTH, T.L.; DIXON, K.W. eta BROCCOLI, A.J. (2001). «Anthropogenic warming of Earth's climate system». *Science* **292** 267-270.
- [2] BARNETT, T.P.; PIERCE, D.W.; ACHUTARAO, K.M.; GLECKER, P.J.; SANTER, B.D.; GREGORY, J.M. eta WASHINGTON, W.M. (2005). «Penetration of human-induced warming into the world's oceans». *Science* **309** 284-287.
- [3] LEVITUS, S.; ANTONOV, J.I. eta BOYER, T. (2005). «Warming of the world ocean, 1955-2003». *Geophysical Research Letters*, **32** L02604, doi:10.1029/2004GL021592.
- [4] SABINE, C.L.; FEELY, R.A.; GRUBER, N.; KEY, R.M.; LEE, K.; BULLISTER, J.L.; WANNINKHOF, R.; WONG, C.S.; WALLACE, D.W.R.; TILBROOK, B.; MILLERO, F.J.; PENG, T.-H.; KOZYR, A.; ONO, T. eta RIOS, A.F. (2004). «The oceanic sink for anthropogenic CO₂». *Science* **305** 367-371.
- [5] RICHARDSON, A.J. (2008). «In hot water : zooplankton and climate change». *ICES Journal of Marine Science* **69** 279-295.
- [6] EDWARDS, M.; REID, P.C. eta HEATH, M. 2008. «Plankton in Marine Climate Change Impacts Annual Report Card 2007-2008». (Eds. BAXTER, J.M.; BUCKLEY, P.J. eta WALLACE, C.J.) Scientific review 8 orr: www.mccip.org.uk/arc/2007/PDF/Plankton.pdf.
- [7] CUSHING, D.H. 1972. «The production cycle and the numbers of marine fish». *Symposia of the Zoological Society of London* **29** 213-232.
- [8] CUSHING, D.H. 1990. «Plankton production and year-class strength in fish populations: an update of the match/mismatch hypothesis». *Advances in Marine Biology* **26** 249-293.

- [9] DURANT, J.M.; HJERMANN, D.Ø.; OTTERSEN, G. eta STENSETH, N.Ch. (2007). «Climate and the match or mismatch between predator requirements and resource availability». *Climate Research* **33** 271-283.
- [10] SMAYDA, T.J.; BORKMAN, D.G.; BEAUGRAND, G. eta BELGRANO, A.G. (2004). «Responses of marine phytoplankton populations to fluctuations in marine climate». STENSETH, N.Ch., OTTERSEN, G., HURRELL, J. eta BELGRANO, A.G. (ed.). *Marine Ecosystems and Climate Variation*. Oxford Univ. Press. New York.
- [11] MACKAS, D.L. 2008. «Zooplankton and Climate: Response Modes and Linkages among regions, regimes and trophic levels». PICES Press 16 13-15.
- [12] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, W.G.I. (2007). *Climate change 2007: the physical science basis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [13] BURKILL, P. eta REID, P. (2010). «Plankton Biodiversity of the North Atlantic: Changing Patterns Revealed by the Continuous Plankton Recorder Survey». HALL, J.; HARRISON, D.E. eta STAMMER, D. (ed.). *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society* (Vol. 1), Venice, Italy, 21-25 September 2009, ESA Publication WPP-306, doi:10.5270/OceanObs09.pp.09.
- [14] SARMIENTO, J.L.; SLATER, R.; BARBER, R.; BOPP, L.; DONEY, S.C.; HIRST, A.C.; KLEYPAS, J.; MATEAR, R.; MIKOLAJEWICZ, U.; MONFRAY, P.; SOLDATOV, V.; SPALL, S.A. eta STOUFFER, R. (2004). «Response of ocean ecosystems to climate warming». *Global Biogeochemical Cycles* **18** GB3003, doi:10.1029/2003GB002134.
- [15] CURY, P.M.; SHANNON, L.J. eta SHIN, Y.-J. 2001. «The functioning of marine ecosystems». *Reykjavik Conference on Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem*. Reykjavik, Iceland, 1-4 October 2001.
- [16] EDWARDS, M. eta RICHARDSON, A.J. (2004). «Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch». *Nature* **430** 881-884.
- [17] MOY, A.D.; HOWARD, W.R.; BRAY, S.G. eta TRULL, T.W. 2009. «Reduced calcification in modern Southern Ocean planktonic foraminifera». *Nature Geoscience* **2** 276-280.
- [18] REID, P.C.; ÓLAFSSON, J. eta ÓLAFSSON, H. (2006). «North Atlantic Climate and Ecosystems: A current threat?». *Symposium held in Reykjavik Iceland*, 11-12 September 2006.
- [19] KENNISH, M.J. (1986). *Estuarine ecology*. CRC Press. Florida.
- [20] SCHALLENBERG, M.; HALL, C.J. eta BURNS, C.W. (2003). «Consequences of climate-induced salinity increases on zooplankton abundance and diversity in coastal lakes». *Marine Ecology Progress Series* **251** 181-189.
- [21] BEAUGRAND, G.; LUCZAK, C. eta EDWARDS, M. (2009). «Rapid biogeographical plankton shifts in the North Atlantic Ocean». *Global Change Biology* **15** 1790-1803.
- [22] BEAUGRAND, G.; REID, P.C.; IBAÑEZ, F.; LINDLEY, J.A. eta EDWARDS, M. (2002). «Reorganisation of North Atlantic marine copepod biodiversity and climate». *Science* **296** 1692-1694.

- [23] LINDLEY, J.A. eta DAYKIN, S. (2005). «Variations in the distributions of *Centropages chierchiae* and *Temora stylifera* (Copepoda: Calanoida) in the north-eastern Atlantic Ocean and western European shelf waters». *ICES Journal of Marine Science* **62** 869-877.
- [24] BEAUGRAND, G.; BRANDER, K.M.; LINDLEY, J.A.; SOUSSI, S. eta REID, P.C. (2003). «Plankton effect on cod recruitment in the North Sea». *Nature* **426** 661-664.
- [25] QUERO, J.-C.; DU BUIT, M.-H. eta VAYNE, J.-J. (1998). «Les observations de poissons tropicaux et le réchauffement des eaux dans l'Atlantique européen». *Oceanologica Acta* **21** 345-351.
- [26] PERRY, A.I.; LOW, P.J.; ELLIS, J.R. eta REYNOLDS, J.D. (2005). «Climate change and distribution shifts in marine fishes». *Science* **308** 1912-1915.
- [27] REID, P.C.; JOHNS, D.; EDWARDS, M.; STARR, M.; POULIN, M. eta SNOEJIS, P. (2007). «A biological consequence of reducing Arctic ice cover: arrival of the Pacific diatom *Neodenticula seminae* in the North Atlantic for the first time in 800 000 years». *Global Change Biology* **13** 1910-1921.
- [28] BURKILL, P.H. eta REID, P.C. (2009). «Plankton Biodiversity of the North Atlantic: Changing Patterns Revealed by the Continuous Plankton Recorder Survey». *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society*. doi:10.5270/OceanObs09.pp.09
- [29] SCHLÜTER, M.H.; MÉRICO, A.; REGINATTO, M.; BOERSMA, M.; WILTSHIRE, K.H. eta GREVE, W. (2010). «Phenological shifts of three interacting zooplankton groups in relation to climate change». *Global Change Biology* **16** 3144-3153.
- [30] MCCIP (2008). «Marine Climate Change Impacts Annual Report Card 2007-2008». BAXTER, J.M.; BUCKLEY, P.J. eta WALLACE, C.J. (ed.). *Annual Report Card 2007*.
- [31] HOEPPFNER, N. (ed.) (2006). *Marine and Coastal Dimension of Climate Change in Europe: A Report to the European Water Directors*. European Commission - Joint Research Centre. Report EUR 22554 EN, Ispra, pp 107 (http://ies.jrc.ec.europa.eu/fileadmin/Documentation/Reports/Varie/cc_marine_report_optimized2.pdf).
- [32] BEAUGRAND, G. eta GOBERVILLE, E. (2010). «Conséquences des changements climatiques en milieu océanique». *Hors-série* **8** octobre 2010. <http://vertigo.revues.org/10143>.
- [33] RICHARDSON, A.J. eta SCHOEMAN, D.S. (2004). «Climate Impact on Plankton Ecosystems in the Northeast Atlantic». *Science* **305** 1609-1612.
- [34] ELOIRE, D.; SOMERFIELD, P.J.; CONWAY, D.V.P.; HALSBAND-LENK, C.; HARRIS, R. eta BONNET, D. 2010. «Temporal variability and community composition of zooplankton at Station L4 in the Western Channel: twenty years of sampling». *Journal Plankton Research* **32** 657-679.
- [35] BOPP, L.; AUMONT, O.; CADULE, P.; ALVAIN, S. eta GEHLEN, M. (2005). «Response of diatoms distribution to global warming and potential implications: A global model study». *Geophysical Research Letters* **32** L19606, doi:10.1029/2005GL023653.

- [36] BEAUGRAND, G.; IBAÑEZ, F. eta REID, P.C. (2000). «Long-term and seasonal fluctuations of plankton in relation to hydroclimatic features in the English Channel, Celtic Sea and Bay of Biscay». *Marine Ecology Progress Series* **200** 93-102.
- [37] VIVES, F.; SUAUA, P.; ALCARAZ, M.; ANDREU, P. eta TREPAT, I. (1977). «Estudio del zooplankton de la plataforma costera de Vizcaya (Punta Endata)». *Estudio ecológico de la plataforma costera del Cantábrico frente a punta Endata*. 2.^a parte Ed. Instituto de Investigaciones Pesqueras. Barcelona.
- [38] VILLATE, F. (1980). «Dinámica espacio-temporal de las poblaciones de Copépodos y Cladóceros en el estuario de Plencia». Lizentziatura-tesina. UPV/EHU.
- [39] VILLATE, F. (1989-1990). «Zooplanktoni buruzko aurreikerketa koantitatiboa Gernika/Mundakako itsasadarrean». *Munibe* **41** 3-30.
- [40] VILLATE, F. (1991). «Annual cycle of zooplankton community in the Abra Harbour (Bay of Biscay): abundance, composition and size spectra». *Journal of Plankton Research* **13** 691-706.
- [41] VILLATE, F.; MORAL, M. eta VALENCIA, V. 1997. «Mesozooplankton community indicates climate changes in a shelf area of the inner Bay of Biscay throughout 1988 to 1990». *Journal of Plankton Research* **19** 1617-1636.
- [42] ARAVENA, G.; VILLATE, F.; IRIARTE, A.; URIARTE, I. eta IBAÑEZ, B. (2009). «Influence of the North Atlantic Oscillation (NAO) on climatic factors and estuarine water temperature on the Basque coast (Bay of Biscay): Comparative analysis of three seasonal NAO indices». *Continental Shelf Research* **29** 750-758.
- [43] VALDES, L. eta MORAL, M. (1998). «Time series analysis of copepod diversity and species richness in the Southern Bay of Biscay (Santander, Spain) and their relationships with environmental conditions». *ICES Journal of Marine Science* **55** 783-792.
- [44] IRIARTE, A.; ARAVENA, G.; VILLATE, F.; URIARTE, I.; IBAÑEZ, B.; LLOPE, M. eta STENSETH, N.Ch. (2010). «Dissolved oxygen in contrasting estuaries of the Bay of Biscay: effects of temperature, river discharge and chlorophyll *a*». *Marine Ecology Progress Series* **418** 57-71.
- [45] VILLATE, F.; ARAVENA, G.; IRIARTE, A. eta URIARTE, I. 2008. «Axial variability in the relationship of chlorophyll *a* with climatic factors and the North Atlantic Oscillation in a Basque coast estuary, Bay of Biscay (1997-2006)». *Journal of Plankton Research* **30** 1041-1049.
- [46] PERSHING, A.J.; GREENE, C.H.; PLANQUE, B. eta FROMENTIN, J.-M. (2004). «The influence of climate variability on North Atlantic zooplankton populations». STENSETH, N.Ch.; OTTERSEN, G.; HURRELL, J. eta BELGRANO, A.G. (ed.). *Marine Ecosystems and Climate Variation*. Oxford Univ. Press. New York.
- [47] MOLL, A. (1998). «Regional distribution of primary production in the North Sea simulated by a three-dimensional model». *Journal of Marine Systems* **16** 151-170.

- [48] STEGER, Ch.; JI, R. eta DAVIS, C.S. (2010). «Influence of projected ocean warming on population growth potential in two North Atlantic copepod species». *Progress in Oceanography* **87** 264-276.
- [49] GOBERVILLE, E.; BEAUGRAND, G.; SAUTOUR, B.; TRÉGUER, P. eta S.O.M.L.I.T. TEAM (2010). «Climate-driven changes in coastal marine systems of western Europe». *Marine Ecology Progress Series* **408** 129-147.
- [50] BOESCH, D.F. (2002). «Summary of Climate Change Assessments: Implications for Estuarine Biocomplexity». *Working Paper-Biocomplexity in responses of Estuarine Ecosystems to Climate Variability and Change: Planning for Science in the 21st Century*, University of Maryland Centre for Environmental Science, Estuarine Research Federation.
- [51] CLOERN, J.E. eta JASSBY, A.D. (2008). «Complex seasonal patterns of primary producers at the land-sea interface». *Ecology Letters* **11** 1294-1303.

IRUDIEN BIBLIOGRAFIA

2. irudia. [15] CURY, P.M.; SHANNON, L.J. eta SHIN, Y.-J. (2001). «The functioning of marine ecosystems», Reykjavik Conference on Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem. Reykjavik, Iceland, 1-4 October 2001.
3. irudia. [9] DURANT, J.M.; HJERMANN, D.Ø.; OTTERSEN, G. eta STENSETH, N.Ch. (2007). «Climate and the match or mismatch between predator requirements and resource availability». *Climate Research* **33** 271-283.
4. irudia. [21] BEAUGRAND, G.; LUCZAK, C. eta EDWARDS, M. (2009). «Rapid biogeographical plankton shifts in the North Atlantic Ocean». *Global Change Biology* **15** 1790-1803.
5. irudia. [24] BEAUGRAND, G.; BRANDER, K.M.; LINDLEY, J.A.; SOUSSI, S. eta REID, P.C. (2003). «Plankton effect on cod recruitment in the North Sea». *Nature* **426** 661-664.
6. irudia. [27] REID, P.C.; JOHNS, D.; EDWARDS, M.; STARR, M.; POULIN, M. eta SNOEIJIS, P. (2007). «A biological consequence of reducing Arctic ice cover: arrival of the Pacific diatom *Neodenticula seminae* in the North Atlantic for the first time in 800 000 years». *Global Change Biology* **13** 1910-1921.
7. irudia. [16] EDWARDS, M. eta RICHARDSON, A.J. (2004). «Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch». *Nature* **430** 881-884.
9. irudia. [52] BEAUGRAND, G. (2009). «Decadal changes in climate and ecosystems in the North Atlantic Ocean and adjacent seas». *Deep-Sea Research II* **56** 656-673.
10. irudia. [53] REID, P.; EDWARDS, M.; HUNT, H eta WARNER, A. (1998). «Phytoplankton change in the North Atlantic». *Nature* **391** 546.
12. irudia. [41] VILLATE, F.; MORAL, M. eta VALENCIA, V. (1997). «Mesozooplankton community indicates climate changes in a shelf area of the inner Bay of Biscay throughout 1988 to 1990». *Journal of Plankton Research* **19** 1617-1636.