

Ekosistemen osasuna: klima-aldaketaren eta kutsaduraren arteko elkarrekintza

Maren Ortiz-Zarragoitia, Beñat Zaldibar, Manu Soto, Urtzi Izagirre, María Mugica, Larraitz Garmendia, Amaia Irizar, Ibon Cancio, Amaia Orbea, Eider Bilbao, Miren P. Cajaraville, Ionan Marigómez

UPV/EHU, ZTF-FCT, CBET Ikerketa taldea

Laburpena: Tresna biologiko berriak behar dira klima-aldaketak lurzoruetako zein ekosistema itsastarretako organismoengan eragiten duen efektua aztertzeko. Asmo honekin Zelulen Biologia Ingurumen Toxikologian ikerketa-taldea, estres peko egoaldiaren, eragindako efektuen eta osasun-estatusaren biomarkatzaileak ugal-zikloan zehar garatzen eta aplikatzen ari da, ekosistema desberdinetako espezie sentikor zentinelan. Artikulu honetan ekosistemen osasunaren eta bere ebaluazioari buruzko *auzia-aren egoera* izan dugu ikusmiran klima-aldaketaren ikuspuntutik, eta etorkizunerako lan ildoak proposatu ditugu.

Abstract: The research on the effects of Climate Change on organisms inhabiting soil and marine ecosystems deserves the development of new biological tools. With this objective the research group Cell Biology in Environmental Toxicology (CBET) of the University of the Basque Country works in the development of biomarkers for evaluating the effects of climate change on living organisms, together with the study of subtle changes on reproductive cycles. In the present article we summarize the state-of-the-art in the health assessment and evaluation of ecosystems affected by climate change effects and we propose future directions in this research.

1. SARRERA: EKOSISTEMEN OSASUNA ETA BERE EBALUAZIOA KLIMA-ALDAKETAREN IKUSPEGITIK

Ingurumen-unitateak lurreko konpartimentu ezberdinak (lurzorua, itsaso, e.a.) hartuko lituzke barne, ezin bestelakorik. Hori dela-eta, klima-aldaketaren inguruan aztergai komunak dira lurzoru- zein itsas-ekosistemetan:

- Klima-aldaketaren ohar goiztiarreko molekula-biomarkatzaile eraginkorrak garatu eta erabili.
- Klima-aldaketaren, sasoiaren arabera eta ingurumenean sortzen diren erasoari aurre egiteko sentikortasun/moldagarritasunaren arteko

elkarrekintzei dagozkien datuen serie historikoak sortu eta mantendu.

- Lurzoru zein itsas ekosistemetan analisi-hurbilketa komuna eskuratu; diagnostiko eraginkorra, erabakiak hartzeko irizpideen uniformetasuna, eta datuen tratamendu/modelatze eraginkorra ahalbidetu.

Klima-aldaketari buruzko nazioarteko ikerketen lehentasunekin bat eginda, gure ikerketen aztergai nagusi bihurtu dira klima-aldaketa eta kutsadura kimikoaren arteko elkarrekintzetatik mundu mailan sorturiko mehatxu globalen artean, tenperatura-erregimenaren aldaketa (TEA) (aklimatazio termikoa, bero-uhinak, e.a.) eta berari lotutako aldakortasun naturalaren patroia (ANP) [1, 2]. Nolabaiteko lehentasunak ezarri behar izan ditugu, baina aipaturiko hauetaz gain, ezin da esan inola ere garrantzi txikiagoko fenomenoak direnik UV erradiazioa, ozeanoen azidifikazioa, murreko klima-fenomenoak eta bestelako mehatxuak [3].

Hori dela-eta, ekin diogu ekosistemen eta biotaren osasunaren gainean TEAk dituen efektu biologikoen magnitudea ikertzeari ikuspegi globalez, baina interes eta garrantzi lokaleko espezieetan batez ere fokaturik. Horretarako, kutsadura kimikoaren presentzia eta eragina ebaluatzeko erabili ohi diren analisi-hurbilketen antzerakoak erabili ditugu: molekula mailako, zelula mailako eta ehun mailako biomarkatzaileak eta hazkuntza, gaixotasuna eta hilkortasuna. Horrekin batera, espezie zentinetan ikergai bihurtu dira, konposatu kimiko kutsatzaileen toxikotasunaren eta baldintza peko egonaldien zein efektu-biomarkatzaileen erantzunean TEAk eragin ditzakeen aldaketak. Horrek izugarritzko garrantzi aplikatua dauka. Izan ere, Lurzoruen legea, Uraren Europar Esparruko Zuzentaraua, Itsas Estrategia Europarra, REACH «Erregistro, Ebaluazio, Baimen eta Muga-pen» arautegia bezalako ingurumen-legeek onartzen dituzten atalase balioak eta balio kritikoak aldatzeko beharra dago etengabe aldatzen ari den mundu batean. Halaber, klima-aldaketak ekosistemen osasunaren gainean eragiten dituen efektuen magnitudea eta kutsadura bezalako beste ingurumen-estresaren iturriekin dituen elkarrekintzak modu objektiboan baloratzeke (mundu mailan zein tokian-tokian), ezinbestekoak dira datu-serie historikoak eta ingurumen-(bio)espezimenen bankuak. Horiek, aukera eman diezagukete denbora serie luzeak interpretatzeko. Gainera, ingurumen-espezimenen bankua oso tresna baliagarria dugu egun zein etorkizunean berebiziko garrantzia izango duten atzera begirako analisiak egiteko. Zehazki, hurrengoak dira arlo honetan CBET ikerketa-taldean ikusmiran ditugun ikerketen helburu nagusiak:

1. Muskuilua, ostra edo lazuna bezalako espezie zentinen ugal-zikloaren denboran zeharreko bilakaera euskal kostaldean karakterizatu, azken hamarkadako urteen arteko aldakortasuna eta aldakortasun geografikoa finkatuz.

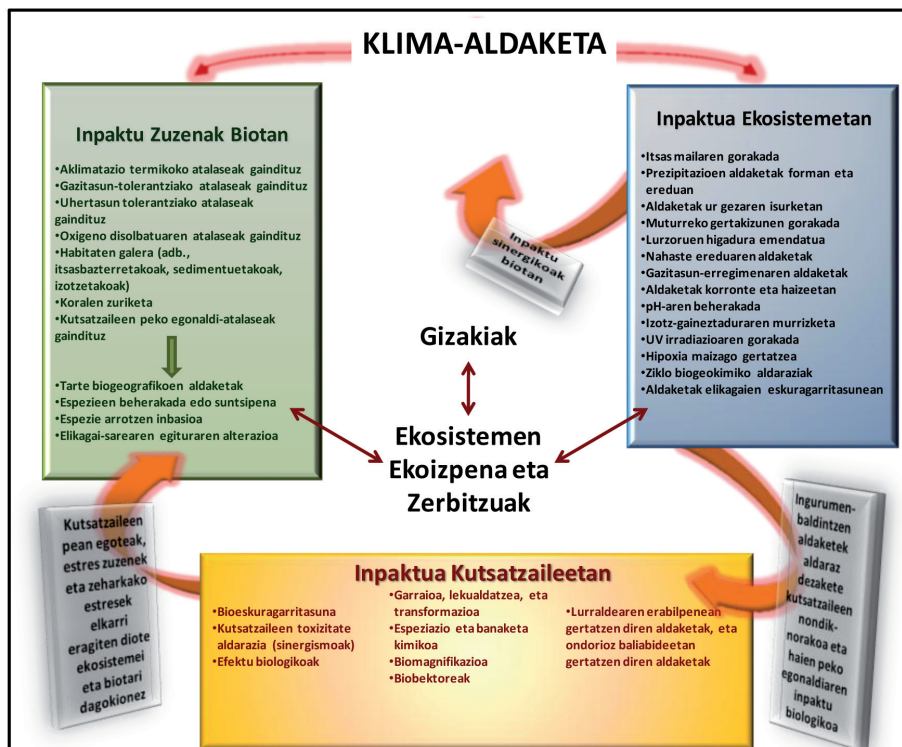
2. Kostaldeko ekosistemen osasunaren denboran zeharreko bilakaera karakterizatzea: azkeneko hamarkadan ingurumen-estresaren biomarkatzaileen urte arteko eta sasoi arteko aldakortasuna eta aldakortasun geografikoa espezie zentineletan aztertu.
3. Faktore fisiko-kimikoek/klimatikoek kostaldeko ekosistemen gainean eragiten duten aldaketa zehaztu.
4. Faktore fisiko-kimikoek/klimatikoek kostaldeko ekosistemen osasunaren eta bere ebaluazioaren gainean kutsadurak eragiten duen inpaktua zehaztu.
5. Biomarkatzaileen eta ekosistemen osasunaren gainean kutsadurak duen eragina ebaluatzeke baliagarriak diren bestelako parametro interesgarrien datu-base historiko bat eraikitzea; horrek, aukera emango luke klima-datuekin batera ereduak sortzeko eta ekosistemak babesteko ardura duten kudeatzaileentzat lan-eremu baliagarriak finkatzeko.
6. Ingurumen-bioespezimenen bankua (IBB) gauzatu; bertan, 1998. urtetik aurrerantz hartutako laginetan posible izango litzateke (esaterako, teknika omikoak erabiliz) baldintzen peko egonaldiaren, efektuen eta osasun-estatusen biomarkatzaileak finkatzea, bai egun eta bai eta hemendik hamarkada batzuetara.
7. Nazioarteko lankidetzak, goi mailako prestakuntza, ikertzaileen arteko elkartrukea eta zabalkunde eta zaintze teknologikoaren inguruko jarduerak garrantzitsuak egitea.

1.1. Klima-aldaketak ekosistemen osasunari eta kutsatzaileen aurreko zaurgarritasunari eragiten die

1. irudiak ekosistemetan eta biotan klima-aldaketak eragiten duen inpaktuaren ikuspegi orokorra eta nolako elkarrekintzak dituzten inpaktuak berak, kutsatzaileek, eta euren patuak eta efektuek erakusten du.

Parametro fisiko-kimikoak eta ingurumenaren aldaketak berez, badira, ekosistemen eta biotaren osasunerako mehatxu larriak. Gainera, kutsatzaileen peko egonaldien baldintzek, kutsatzaileen ziklo biogeokimikoak, kutsatzaileen inpaktua, eta ekosistemen eta biotaren erantzunkortasuna eragin ditzakete.

Klima-aldaketaren ikuspegiaren barruan, tenperaturaren aldaketek arreta berezia piztu izan dute. Izan ere, ekosistema eta biotaren osasunean efektu kaltegarriak eragin ditzakete. Tenperaturaren igoera txikiak, sexu-aldaketa eragin dezake zenbait arrain espezieetan, eta horrek bere aldetik ondorio larriak ekar ditzake, bai ikuspegi ekologiko batetik eta bai baliabide naturalen ustiapenaren ikuspuntutik ere. Gainera, tenperaturak ingurumen kutsatzaileen ezaugarri kimikoak alda ditzake, beraien toxikotasunari eraginez. Tenperatura handiagoetan, kutsatzaileen xurgapen tasa igo daiteke



1. irudia. Ekosistemetan eta biotan klima-aldaketak eragiten duen inpaktuaren ikuspegi orokorra eta nola inpaktuak berak, kutsatzaileek, eta euren nondik norakoak eta efektuek elkarri eragiten dioten [4-tik eraldatua].

metabolismo tasaren emendatzea eta oxigenoaren disolbagarritasunaren beharrezkoa direla medio. Itsas karramarro arrunta metaleen pean dagoenean, bihotz-erritmoa bezalako bizi-funtzioak zaurgarriagoak dira, baldin eta urte-sasoiko muturreko tenperaturetaraino iritsi bada. Hala ere, TEAn datza ingurumeneko arrisku nagusia. Alegia, gerta daiteke urteko batez besteko tenperaturaren igoera gradualak urtean zehar homogeneoa izan gabe, negu leunen edo/eta udako bero-uhinen emaitza izatea. Horrek, aldaketak ekarriko lituzke, oro har, parametro biologikoen ANPan eta, bereziki, organismoen ugaltze-zikloan. Zehazki, aldaketa larriak gerta daitezke ugaltze-zikloen desplazamenduetan, eta biotak kutsatzaileei, bizkarroiei, eta beste ingurumen estres-iturriei aurre egiteko dituen sentikortasun eta moldagarritasunean. Azken finean, TEA ingurumeneko estres-iturria da berez. Gainera, ingurumen-kutsatzaileen bioeskuragarritasuna eralda dezake eta biotaren zein ekosistemaren sentikortasunari eta moldagarritasunari ere eragin diezake. Hori dela-eta, espezie eredu

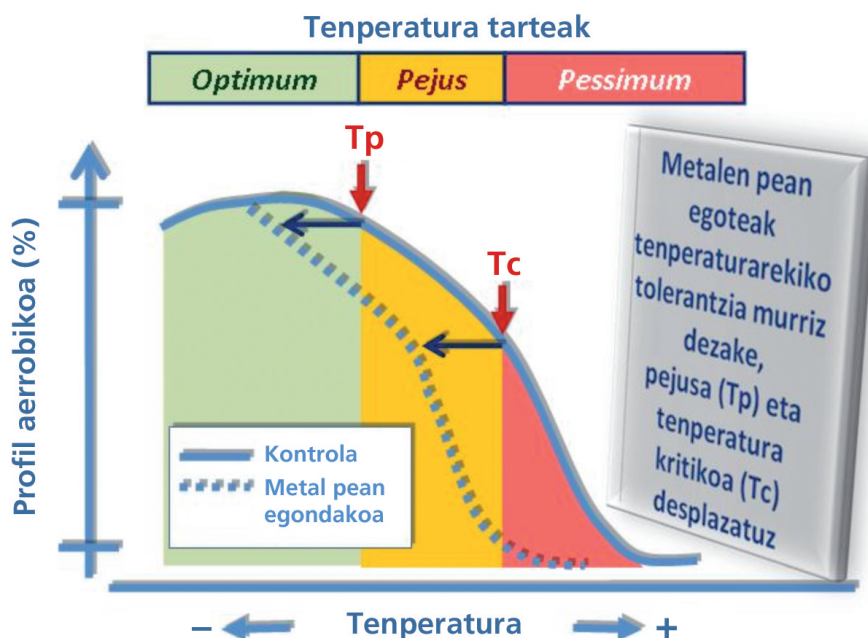
baliatuz laborategi zein zelai-ikerketeki ekin behar zaie, honako helburu hauekin:

- Espezie zentinelak unibertsalean zein tokian tokiko interesa duten espezieetan (nagusiki, anelido, molusku eta arrainetan) TEAren molekula eta zelula-biomarkatzaileak garatu.
- Estres orokorreko biomarkatzaileak espezie zentineletan erabiliz TEAren efektu biologikoa ekosistemetan ebaluatu, eta
- Konposatu kimiko kutsatzaileen toxikotasunean eta espezie zentineletan egonaldiko zein efektuko biomarkatzaileen gainean TEAk eta ANPak duten efektua ezagutu.

1.2. Ekosistemen osasun-egoerak klima-aldaketaren aurreko zaugarritasunari eragiten dio

Kutsadura kimikoa bezalako hainbat estres-iturrik, klima-aldaketaren aurrean sistema biologikoen erakusten duten zaugarritasuna emenda dezakete, euren erresilientzia zein moldagarritasuna murriztuz. Arrainetan, frogatu da tenperaturarekiko tolerantzia goi atalaseak kutsatzaile kimikoen aurrean jaitsi egiten direla. Halaber, kutsadura kimikoaren estrespean jarritako txirlak tenperatura-igoerekiko sentikorragoak direla ere frogatu da.

Orokorrean, kutsatzaile pean egoteak murriztu edo/eta desplazatu egiten du organismoen tolerantzia termikoaren leihoa (2. irudia). Arrainetan zein krustazeoak edo moluskuak bezalako ornogabeetan kutsatzaile pean egoteak arnasketa inhibitzen du eta, ondorioz, mitokondrioen funtzionamendua aldatzen du. Mitokondrioak, biosferan nagusi diren organismo ektotermoen, alegia, orokorrean «odol hotzeko» organismo gisa ezagutzen diren tenperatura-aldaketen moldapenerako zeluletako funtsezko organuluak dira. Gainera, kutsatzaile pean egoteak, arnas-metabolismoaren aldaketak direla-medio, tenperatura txikiekiko zaletasuna duten indibiduen hautespena bultzatzen du; hori hainbat organismotan behatu da, protozoetatik arrainetara. Hortaz, kutsatzaileen presentziak murriz dezake tenperatura handien aurrean erantzuteko organismo ektotermoeak duten gaitasuna (urte-sasoiko muturrekoen edo bero-uhinen aurrean, esaterako). Izatez, Europan eskualde mailan egindako hainbat ebaluaketatan, itsas ekosistemek estatus ekologiko kaltegarria erakusten dute, kutsadura edo arrantza bezalako eragindako presio antropogenikoaren kariaz, eta beraz erresilientzia-gaitasun mugatua dute eta klima-aldaketaren aurrean zaugarriak dira.

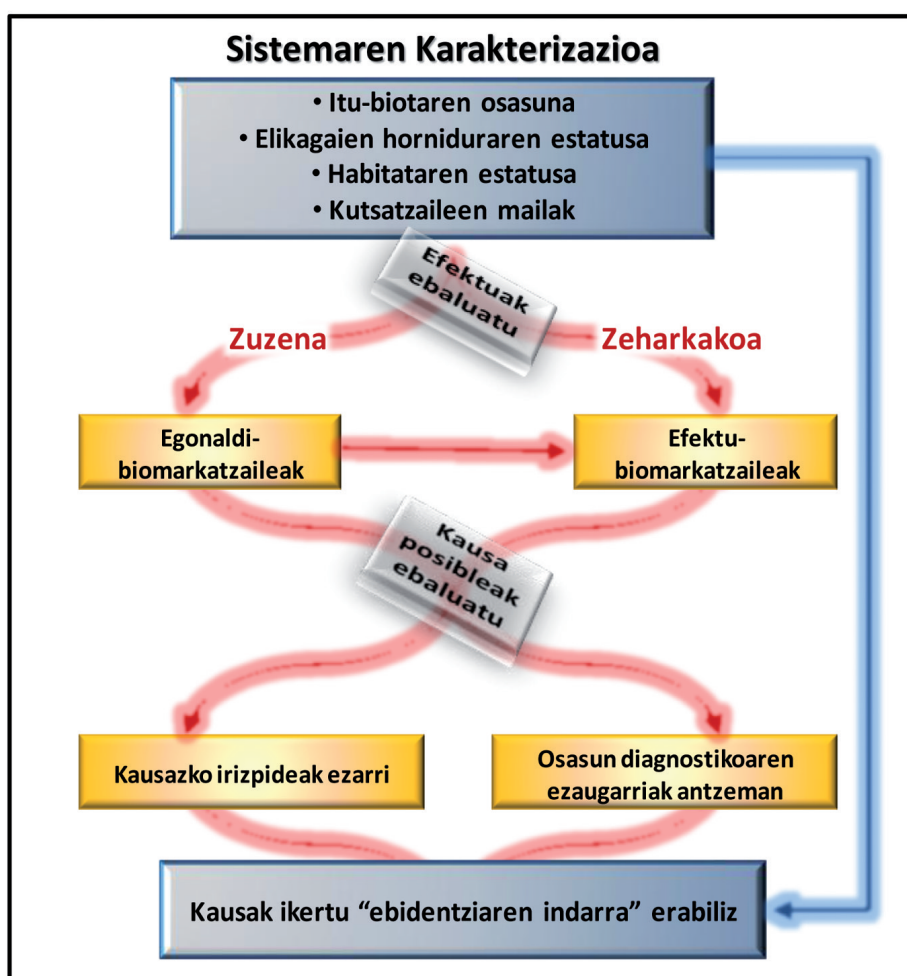


2. irudia. Metalen pean egoteak, ektotermo urtarren tolerantzia termikoan eragiten dituen efektuak [5-tik eraldatua].

1.3. Biosfera elkarri eragiten dioten hainbat estres-iturriren menpean dago

Orokorrean, nazioarteko komunitate zientifikoak onartua du ekosistemen osasunerako mehatxu desberdinak ezin direla elkarrengandik bereiz aztertu; izan ere, ekosistemak elkarri eragiten dioten hainbat estres-iturriren pean daude. Elkarrekintza horiek, eragina dute biotaren efektu biologikoen larritasunean, sentikortasunean eta moldagaritasunean. Adibidez, itsas ekosistemak orokorrean naturalak zein antropogenikoak diren hainbat estres-iturriren pean daude: kutsatzaileak, elikagaiak, hipoxia, uhertasuna, sedimentuak esekiduran, eraldatutako habitatak eta aldagaia klimatologikoak. Hauek kaltetu dezakete bertako biotaren osasuna, eta beraz, ekosistemarena ere. Aipatutako estres-iturri horiek, indibidualki zein prozesu batukor edo sinergikoen bitartez eragin diezaiekete baliabide naturalei. Biotaren erantzuna prozesu zuzenen eta zeharkakoen emaitza integratuak dira; izatez, indibiduo, populazio eta ekosistemen ugaritasun, aniztasun eta ongizatearen aldaketan gisa azalera dira. Aldaketa horietatik abiatuta ordea, zaila suertatzen da-oso, kausa/efektu harremanak finkatzea. Arrazoiak honako hauek dira:

- ekosistemek duten konplexutasun fisiko-kimikoa eta biologikoa;
- biotaren estres erantzuna aldaratzen duten faktore biotiko zein abiotikoen aniztasuna;
- populazio mailan gertatzen diren mekanismo konpentsatzaileak;
- denbora eta espazio-eskaletako estrapolazioen barne dauden magnitude-ordenak; eta
- ekosistemen funtzionamenduan estresagarriek eragin ditzaketen bidezidorrak.



3. irudia. Ingurumen estresagarrien, ekosistemen gaineko efektu eta itsas baliabideen arteko kausa/efektu erlazioak ezartzeko operazio-esparrua. Estres-iturrien eta efektu biologikoen arteko kausazko erlazio posibleak ezartzeko ebidentzia le-roak modu sekuentzian garatu dira [6-tik eraldatua].

Maren Ortiz-Zarragoitia, Beñat Zaldibar, Manu Soto, Urtzi Izagirre, María Mugica, Larraitz Garmendia, Amaia Irizar, Ibon Cancio, Amaia Orbea, Eider Bilbao, Miren P. Cajaraville, Ionan Marigómez

Testuinguru honetan, kutsadura kimikoa aldaketa globalaren barruko beste estres faktore bat dela onartu behar da. Eguneko eta etorkizuneko klima-aldaketen aurreko arriskuak behar bezala ebaluatzeko eta aldaketa horiek izango duten inpaktua ikuspegi errealista batetik baloratzeko. Beharrezkoa da ikuspegi egoki bat hartzea estres-iturri ugarien inguruan eta iturri horien arteko elkarrekintzen inguruan ere. Hori hala da bereziki iturrien indarraren tamaina kontuan hartuta eta klima-aldaketak ere tartean egonda. Gainera, parte hartzen duten fenomeno asko globalak eta epe luzekoak dira, eta bestetik, aurkitu da epe luzerako erantzun biologikoak orokorrean kualitatiboki desberdinak direla ikertu diren epe laburreko erantzunekiko; beraz, ezinbestekoa da ingurumen-azterketarako denbora-eskala luzatzea. Hasierako kausaren eta metatutako efektuen adierazpenaren arteko denbora-desfase luzeak gerta daitezke. Izatez, datuen serie historikoen gabezia da azken urteotan ekosistemen osasunaren eta aldaketa klimatikoa edo kutsadura moduko hainbat ingurumen-estresagarriren inpaktu bateratuaren ebaluazioan behin eta berriz agerian egon den arazo nagusietako bat. Edozein kasutan, beharrezkoa da ingurumena arautzeko, kudeatzeko eta babesteko estrategia eraginkorrari ekiteko, ingurumen-faktoreen eta bere efektu biologikoen arteko kausalitatea ezartzea. Izan ere, horrek halabeharrez ekarriko lituzke erabakiak hartzeko unean ziurgabetasunaren murrizpena eta ondorioz, ingurumen-politika merkeagoa eta arautze-prozedura eta administrazio koherenteagoak. Biomarkatzaileen erabilpenean oinarrituz, ebidentzia anitzeko lerroen analisi sekuentzialak, aukera emango luke aipatutako kausalitatea ezartzeko, oinarri zientifikoa duen eta koste erlatiboki baxukoa den metodologian oinarrituz (3. irudia).

2. EKOSISTEMEN OSASUNEAN KLIMA-ALDAKETAREN EBIDENTZIAK

2.1. Lurzoruetako ekosistemak: espezie zentinelaren ugaltzearen eta osasunaren gaineko denbora-bilakaera

Arion ater gastropodo lehortarraren ugaltzearen denbora-bilakaera finkatu dugu, 1983-2011 urteen artean, kutsadura maila desberdinetako tokietan (Lanestosa vs Zugaztieta) eta kutsatu gabeko baina urte-sasoien eredu desberdinetako tokietan (Delika —aran eskualdea— vs Irati —mendi basoa—). Ugaltzearen denboran zeharreko desplazamenduen aurretiko zantzuak eta TEAren araberrako bizi-zikloaren aldakortasuna antzeman ditugu ikerlan hauen emaitzetan. Gainera, frogatu dugu urte-saso leihoak izenekoek eragina duela ugaltzearen ziklo eta ereduaren gainean. Horrela, mendiko bareen populazioetan (urte-saso leiho estua, 4-5 hilabete) bizi-zikloko 3 fase desberdineko indibiduoak (gaztea,

arra, emea) batera azaltzen dira, adin desberdinekoak izanik ere. 9-10 hila-
beteko sasoi-leiho zabala duten aranetako populazioetan ordea, bata
bestearen jarraian doaz bizi-zikloko fase desberdinak (gazteak udabe-
rrian, arrak udan eta emeak udazkenean). Horrek, ekar dezake urte-sasoi
leihoaren arabera, ingurumeneko estres-iturrien aurrean bi populazio ho-
rien moldatze-gaitasuna oso desberdina izatea, bizi-zikloko fase bakoi-
tzeko erantzun-gaitasuna eta erresistentzia oso desberdina baita (ikus
aurrerago).

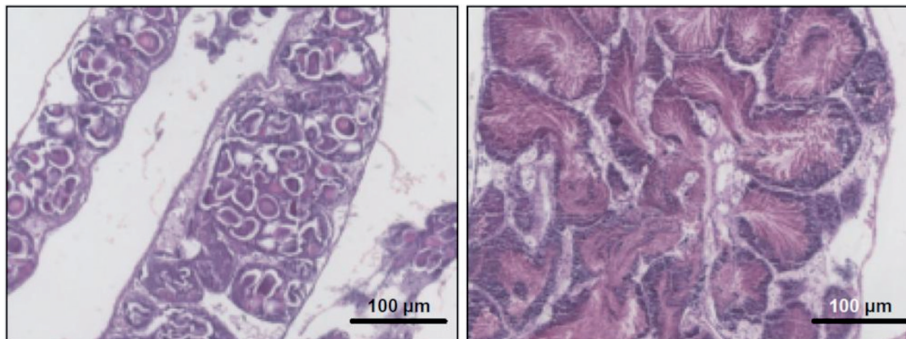
Era berean, *Arion ater* espezieko populazio horietan urte-sasoika lortu-
riko datuen (hau da, biomarkatzaileak, histopatologia, eta biometaketaren
inguruko zehaztapenen) serie historikoak (2008-2010) landu ditugu. Ho-
riek kontuan izanda bare arretan biomarkatzaileek ez dute joera argirik era-
kutsi, eta aldiz ale gazte eta emeetan zenbait joeraren aurretiko zantzuak
antzman dira. Hala ere, goiz da ondorioztapen sendoak egiteko eta den-
bora serie luzeagoen beharra dago.

2.2. Ekosistema itsastarrak: Euskal kostaldeko espezie zentinelan ugal-zikloaren eta osasunaren gaineko denbora-bilakera

1998-2011 tartean, *Mytilus galloprovincialis* muskuiluen ugal-zikloa
eta osasun-egoera aztertu dira Euskal kostaldeko 2 leku eredutan (estresa-
tuta — Arriluze— vs estresatu gabekoa —Mundaka—), urteen arteko eta
urte-sasoiaren arteko aldakortasuna zehazteko asmoz. Horretaz gain, euskal
kostaldearen erakusgarri diren 6 lekutan (Arriluze, Mundaka, Arrigunaga,
Gorliz, Pasaia eta Hondarribia) muskuiluak 6 hilean behin aztertu dira, ur-
teen arteko aldakortasuna eta aldakortasun geografikoa ezagutzeko. Lehe-
nengo emaitzen arabera, urteetan zeharreko ugal zikloaren sasotasunak
nolabaiteko murrizte joera azaldu du eta, bestalde, sasotasun eredia bera
kutsadura iraunkorrek aldaraz dezake.

Muskuiluen, ostren eta arrainen bildumak edo artxibategiak bezalako
datuen eta laginen serie historikoak (1988-2007) egungo teknika berrien
bitartez berraztertu ditugu (adb. tenperatura-aldaketa eta kutsatzaileen
efektu biomarkatzaileak, omika teknologia berriak, e.a.). Zehazki, garran-
tzi globala duten zenbait biomarkatzailearen balio basal, atalase-balio eta
balio kritikoen aldaketaren zantzuak aurkitu ditugu: hala egin dugu liso-
somen mintzaren ezegonkortzearen kasuan. Gainera, muskuiluen hazkun-
tzan zein gonadaren garapenean zenbait aldaketa antzman dira. Aldaketa
horiek, ingurumenak bultzatutako goiztiartasun, nanismo edo disrupzio
endokrinoen kasu gisa uler litezke [7] (4. irudia), eta hori argitzeko lanean
dihardugu.

Maren Ortiz-Zarragoitia, Beñat Zaldibar, Manu Soto, Urtzi Izagirre, María Mugica, Larraitz Garmendia, Amaia Irizar, Ibon Cancio, Amaia Orbea, Eider Bilbao, Miren P. Cajaraville, Ionan Marigómez

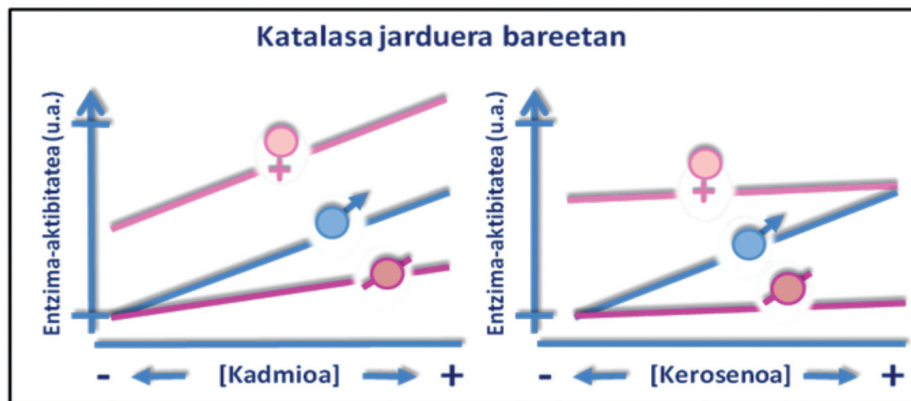


4. irudia. Muskui-lu-en gonada helduak (ezk. emea; esk. arra). Lagin hauek 2007an Mundakan jasotako 1 cm luzerako eta adinez gutxienez 2 urteko muskui-lu-enak dira. Hori klima-faktoreek sorturiko goiztiartasun ala nanismotzat har daiteke, edo kutsatzaile kimikoen bitartez sorturiko disrupzio endokrino moduan, edo bi aukeren arteko konbinazio moduan.

3. EKOSISTEMEN OSASUNAREN GAINEKO ERAGINA ETA ZAURGARRITASUNA

3.1. Faktore fisiko-kimikoek eta klima-faktoreek lurzoru-ekosistemen osasunean, kutsaduran eta beren ebaluazioan erabiltzen diren tresnetan eragiten duten inpaktua

Bareetan tenperatura-aldaketek sorturiko eraginak ikertzeko biomarkatzaileen garapenerako bidezidor berriak ireki dira. Organismo hauen fisiologiagatik, biomarkatzaile berrien beharra ikusi dugu. Gerturatze molekularrean oinarrituriko estrategia erabiltzen hasi gara, *Arion ater* barearen transkriptoma sekuentziatzeko asmoarekin. Egindako lanetatik, nahiz eta datu askorik oraingoz ez izan, lurzoruetako ekosistemen osasun integratuaren gaineko eraginak identifikatu ditugu, adibidez TEAren intzidentzia eta ugalketa-zikloari loturiko aldaketak, lehen esan bezala. Zehazki, ondorioztatu da indibiduen bizi-zikloaren (ugalketa-sasoia) eta kondizioaren (osasun egoera, sasoi, eta abarren) menpekoak direla bareekin eginiko 1-4 asteetako saiakeretan efektu biologikoak (hilkortasuna, hazkuntza, fisiologia, efektuzko zein eragin peko biomarkatzaileak), kutsatzaile kimikoak biometatzeko ahalmena, indibiduen bizi-zikloaren (ugalketa-sasoia) eta kondizioaren (osasun egoera, sasoi, eta abarren) menpekoak direla (5. irudia).

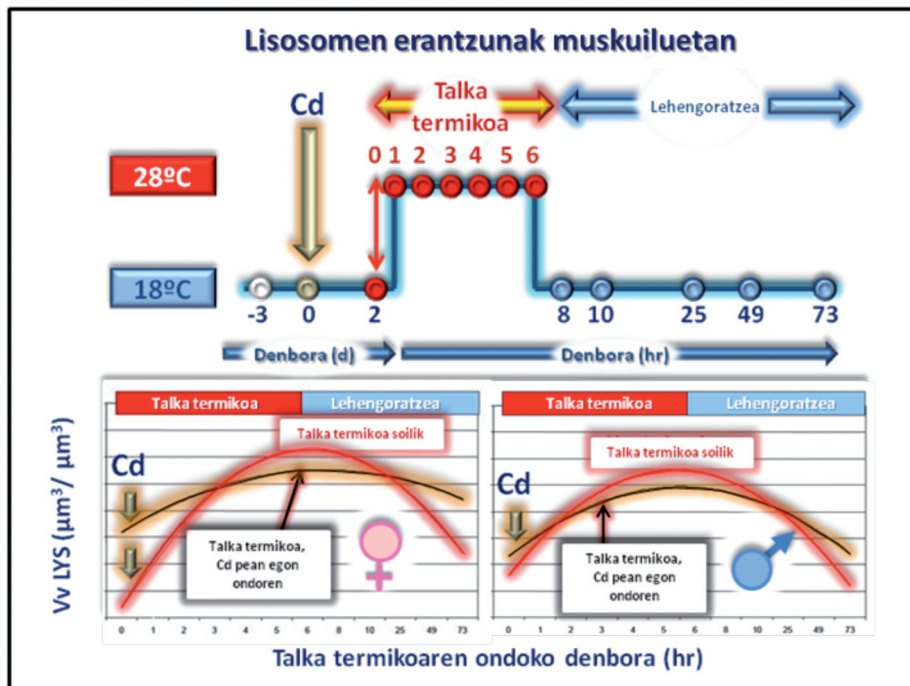


5. irudia. Katalasa entzimaren jardueraren igoera, oxidazio-estresaren biomarkatzaile unibertsala da. Laborategian, erantzunaren maila zein kontrolen maila basalak bizi-fasearean (sexuaren) arabera aldatzen dira kadmio (Cd) eta keroseno pean mantendutako bareetan (gorria: gazteak; urdina: arrak; arrosa: emeak). Beraz, biomarkatzaile honetarako zein beste biomarkatzaileetarako gida-balioak berraztertu beharko lirateke. Halaber, TEAn aldaketek ugal-zikloan eragindako alterazioak gida-balio horien egokitzapena eskatuko luke.

3.2 Faktore fisiko-kimikoek eta klima-faktoreek itsas ekosistemen osasunean, kutsaduran eta beren ebaluazioan erabiltzen diren tresnetan eragiten duten inpaktua.

TEAk ekosistemen osasun integratuan duen eraginari dagokionez zenbait alderdi garrantzitsu behatu dira; esaterako, desberdintasunak sentikortasunean eta moldakortasunean sexuen arabera, osasun-egoeraren arabera, edo aldez aurretik kutsatzaileen eraginpean egon izanaren arabera, e.a. Epe laburreko (4 aste) saiakeretan, kualitatiboki zein kuantitatiboki frogatu dugu desberdinak direla tenperatura-aldaketen aurrean gertatzen diren erantzunak, udaberriko gametogenesi aurreratuan, udako errunaldi ondoko epean eta udazkeneko gametogenesi hasiberrian. Gainera, erantzun horiek populazioaren osasun-egoeraren menpekoak direla ikusi dugu. Harrigarria bada ere, ingurumenaren presiopean bizi diren muskuiluak izan dira tenperaturaren igoera mailakatu baten aurrean erresistentzia gehien erakutsi dutenak. Bestalde, tenperaturaren igoera mailakatu baten eragina ez dago horrenbeste igoera tartearen menpe (8°C aste batean), atalase mailara iristea lortu izanaren menpe baizik. Euskal kostaldean aztertutako muskuiluen populazioentzat 28°C inguruan ezarri da, eta dirudienez, ez da urte-sasoaren zein abiapuntuko tenperaturaren menpe dagoen atalasea. Gure ikerlan eremuan leiho termikoaren kontzeptua eta kutsatzaileek eragindako aldaketak hartu ditugu barne.

Muskuiluetan, ondorioztatu dugu ugalketa-egoeraren arabera aldatzen direla efektu biologikoak (hilkortasuna, sasoi, efektuzko zein eraginpeko biomarkatzaileak) eta kutsatzaile kimikoen biometaketa. Horretaz gain, frogatu da ingurumenaren ikuspegitik elkarrekintzak daudela TEA eta kutsatzaile kimikoen biometaketaren eta toxikotasunaren artean. Esaterako, 6 ordutako talka termiko batek kutsatzaileen menpeko erantzunak estaltzen ditu. Halaber, kutsatzaileen eraginpean aurretik egon izanak TEAren erantzun ereduak aldatzen du. Azkenik, desberdina izan daiteke klima-aldaketa eta kutsadura kimikoaren elkarrekintzekiko sentikortasuna, indibiduen sexuen eta gametogenesiaren garapen-faseen arabera (6. irudia).



6. irudia. Temperatura eta kutsadura kimikoaren elkarrekintza muskuiluetan aztertzeko egin den saio ereduak. Digestio-aparatuko zeluletako lisosomen bolumenean aldaketak beha daitezke (bolumena ingurumen-estres aurreko lisosomen handipenaren adierazlea baita). Kadmio (Cd) pean mantenduriko muskuiluek mugatuagoa dute 10°C -ko talka termiko baten aurrean eman dezaketen erantzuna. Efektu hori nabariagoa da muskuilu emeetan arretan baino. Hala ere, muskuiluen ehuntan egindako analisi kimikoen arabera, metaturiko Cd mailak antzekoak dira bi sexuetan. Hortaz, kausa/efektuaren harremana berrikusi beharra dago eta temperatura-erregimena eta sexua kontuan hartu (baita ugalketa-zikloaren fasea, egindako beste saiakera batzuek diotenaren arabera). Elkarrekintza horiek ezagutzea oso garrantzitsua da, kutsatzaileen maila kaltegarriak ezartzeko eta ingurumen kudeatzaileen zako erabilgarriak diren ingurumeneko kalitate/osasun irizpideak ezartzeko.

4. DATUEN SERIE HISTORIKOAK

Gastropodo lehortarren eta bibalbio eta arrain itsastarren laginak eta datuen serie historikoak luzatu eta eguneratzeko asmoa dugu. Biomarkatzaileetatik zein ekosistemen osasunaren gain kutsatzaileek duten eragina aztertzeko erabilitako beste zenbait parametrotatik lorturiko datu-base historikoa (Klimatox) diseinatu eta eraiki dugu. Datu-base horrek, klima-datuekin batera, epe luzerako balorazioak egitea ahalbidetuko digu. Gainera, laguntza emango digu ekosistemen babesaz arduratzen diren kudeatzaileen-tzako erabilgarriak diren ereduaren garapena egiteko eta etorkizuneko agertoki posibleak aurreikusteko. Ingurumen Bioespezimenen Bankua (IBB) abian jarri da eta Europa eta mundu mailako sareekiko harremana lantzen ari gara. IBBren laginetan (1983tik lurzoruetan eta 1988tik kostaldean) klima-aldaketaren zein kutsadura eta patogenoen adierazleak diren eta espezie zentinelaren osasunaren adierazleak diren biomarkatzaileak zehaztu ahal dira hurrengo hamarkadetan zehar (besteak beste teknika omikoak erabiliz). German Environmental Specimen Bank eta Europako eta mundu mailako espezimen-bankuen sareekiko koordinazio eta elkarlanerako sistema ezarri da.

5. ONDORIOAK

Laburbilduz, egindako eta programaturiko ekintza guztiak ekarpen garrantzitsuak dira ingurumeneko estres-iturri ugarien pean dauden lurzoruetako eta kostaldeko ekosistemen ezagupenean eta ulermenean. Era berean, kutsadura kimikoaren ebaluazio egokirako kontzeptuak, tresnak, baliabideak eta estrategiak esangarriki landu dira. Honek guztiak laguntza emango digu garapen jasangarriaren ildotik, gaurko zein etorkizuneko ekosistemen zentzuzko babesa (oinarri zientifikoduna) lortzeko. Bestalde, etorkizuneko klima-aurreikuspenekin (epe labur, ertain eta luzean) uztartuz, ekosistemen osasunaren gainean kutsadurak duen eragina ebaluatzeko egokitzapen-irizpideak eta hartu beharreko neurriak identifikatu ditugu. Lehenik, indarrean dauden ingurumen-araudi eta Lurzoruen Legea, REACH, Europako Uraren Esparru Zuzentaraua, Europako Itsas-Estrategia Zuzentaraua bezalako legeen aplikazioan eragina duten toxizitate-parametro eta biomarkatzaileen prozedurak, balio kritikoak eta atalase balioak berrikusi eta eguneratu beharra dago. Bigarrenik, biomarkatzaileen eta ekosistemen osasunaren gain kutsadurak eragiten duen inpaktua ebaluatzeko bestelako parametro interesgarri batzuen datu-baseak mantendu, eguneratu eta hobetsi beharra dago. Azkenik, ingurumeneko bioespezimen-bankua ezarri eta mundu mailan sare-harremanak garatu behar dira, besteak beste, etengabe hornitu beharko dira atal orokor bat (interes globaleko zentinelak) eta atal espezifikoak (interes lokal bereziaren arloetan).

Maren Ortiz-Zarragoitia, Beñat Zaldibar, Manu Soto, Urtzi Izagirre,
María Mugica, Larraitz Garmendia, Amaia Irizar, Ibon Cancio,
Amaia Orbea, Eider Bilbao, Miren P. Cajaraville, Ionan Marigómez

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] CLIMATE CHANGE (2007). *Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change. 4th ASSESS REP.*
- [2] HOEPFFNER, N.; DOWELL, M.D.; EDWARDS, M.; FONDA-UMANI, S.; GREEN, D.R.; GREENAWAY, D.; HANSEN, B.; HEINZE, C.; LEPPANEN, J.M.; LIPIATOU, E.; OZSOY, E.; PHILIPPART, K.; SALOMONS, W.; SANCHEZ-ARCILLA, A.; SCHRIMPF, W.; SCHRUM, C.; TEOCHARIS, A.; TSIMPLIS, M.; VELOSO GOMES, F.; WAKENHUT, F. eta ZALDIVAR, J.M. (2006). *Marine and Coastal Dimension of Climate Change in Europe. A report to the European Water Directors.* EC-JRC EUR 22554 EN.
- [3] FABRY, V.J.; SEIBEL, B.A.; FEELY, R.A. eta ORR, J.C. (2008). «Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes». *ICES Journal of Marine Sciences* 65, 414-432.
- [4] SCHIEDEK, D.; SUNDELIN, B.; READMAN, J.W. eta MACDONALD, R.W. (2007). «Interactions between climate change and contaminants». *Marine Pollution Bulletin* 54, 1845-1856.
- [5] SOKOLOVA, I.N. eta LANNIG, G. (2008). «Interactive effects of metal pollution and temperature on metabolism in aquatic ectotherms: implications of global climate change». *Climate Research* 37, 181-201.
- [6] ADAMS, S.M. (2005). «Assessing cause and effect of multiple stressors on marine systems». *Marine Pollution Bulletin* 51, 649-657.
- [7] MICHAELIDIS, B.; OUZOUNIS, C.; PALERAS, A. eta PÖRTNER, H.O. (2005). «Effects of long-term moderate hypercapnia on acid-base balance and growth rate in marine mussels *Mytilus galloprovincialis*». *Marine Ecology Progress Series* 293, 109-118.