

Substratu gogorreko bentos itsastarra (eta II): poluzioaren jarraipenerako gunea

Santiago Pagola Carte

Zoologia eta Animalia Zelulen Dinamika Saila
Euskal Herriko Unibertsitatea
644 P.K.; 48080 BILBO
ggbpacas@lg.ehu.es

Laburpena: itsas poluzioa aztertzerakoan estresa edota perturbazioak bezalako kontzeptuak argitzeko beharra dago, gizakiaren haiekiko lotura ulertu nahi bada. Gizakia arazoan sortzaile modura eta, azkenaldian, konpontzaile modura ere jokatzeko ari da. Artikuluan, itsas poluzioaren jarraipen-programak testuinguru zabal batean kokatu dira, eta jarraipen motak aurkeztu: kimikoa eta biologikoa, eta biologikoaren baitan, konplexutasun biologikoaren eskalaren arabera. Ekologiak aztertzen dituen mailen jarraipena, jarraipen ekologikoa da. Itsas bentosaren kasuan, komunitateen erabilera oso hedatuta dago ikertzaileen artean, batez ere makrofaunari dagokiola. Artikulu osoan zehar habitat nahiz jarraipen-programen mota ezberdinekin lotutako abantailak eta «alde ilunak», batzuetan ikuspuntu historiko batetik, erakutsi dira. Azkenik, baina ideien antolaketa ardatz nagusitzat, substratu gogorreko komunitate makrobentikoen erabilera aurkeztu da, aurreko artikuluan azaldutako ezaugarriekin erlazio zuzenean.

ITSAS POLUZIOA, ESTRESA ETA PERTURBAZIOAK

Hainbat kontzeptu eta definizio

Itsas poluzioaren definiziotzat, GESAMP taldeak ingelesezko «*marine pollution*» kontzepturako erabilia hartuko dugu: gizakiak itsas ingurunera (estuak barne) egindako substantzia edo energiaren sarrera zuzena edo zeharkakoa, baliabide biziei kalteak dakarzkiena, giza osasuna arriskuan jartzen duena, itsas jardueri (arrantzari batez ere) arazoak dakarzkiena edota uraren kalitatea murrizten duena [1, 2]. Anglosaxoien «*pollution*» hori bereizi behar da «*contamination*» delako berbatik. Azken hau uretan, jalkinetan edo bizidunetan hainbat substantziaren kontzentrazio altuak daukela adierazteko erabiltzen da, hauek eragin zein ondorio negatiborik gabeak izan badaitezke ere [2, 3, 4]. Ildo honetatik badago esatea poluzioa

kontaminazioak kasu batzuetan ekar ditzakeen ondorio kaltegarrien multzoa dela. Gehienetan, ordea, aipatutako bi hitzak, ingelesez behintzat, bereizi gabe erabiltzen dira. Guk «poluzioz» hitz egingo dugu hemendik aurrera, nahiz eta askotan, gaizki-ulertuak argitzeko asmoz, «giza poluzioa» erabili. Eta poluzioaz esango dugun lehenengo gauza da, hain zuzen, eboluzioaren ikuspuntutik oso fenomeno berriaren aurrean gaudela.

Poluzioaren komunitate biologikoen gaineko eraginak ondo laburbilduta geratu ziren Gray-ren ikerketa-lanean [5]. Egile honen arabera, edozein ingurugiro-aldagaiaren eraginak (poluzioarenak ere bai) bi mota nagusikoak izan daitezke: (a) perturbazio (*disturbance*) fisikoak, bizidunak erabat edo zati batean hondatuta geratzen direnean; (b) estresa (*stress*), ekoizpenak nolabaiteko murrizpena pairatzen duenean. Kontuan hartu behar da, gainera, oinarritzko lau egoera posible daudela, perturbazio eta estres mailak altuak ala baxuak diren kontuan hartuta, eta honek guztiak animalien estrategia nagusiak baldintzatzen bide ditu. Izan ere, Gray-ek berak *K-r* ekologi estrategiekin lotu ditu egoera horiek. Esan beharra dago, baina, *K-r* estrategien eredia ez bide dela oso egokia itsas inguruko bizidunen kasuan: alde batetik, lehorreko eta ur gazitako faunaren ezaugarrietan oinarriturik dagoelako eta, bestetik, itsas animalia askoren bizi-zikloak ezezagun samarrak direlako [6].

«Estres» eta «perturbazio» berben muga semantikoak ezartzea eztabaidagarri suertatzen da, esanahien eta kontzeptuen beraien inguruko iritzi eta hurbilketak ugariak izan baitira. Are gehiago, batzuetan, eztabaidaren mamilia ez dagokie hitzen esanahiei, baizik eta hitz horiek eta beste zenbaitzuk (esate baterako, «estrategia») ekologian erabiltzearen auziari [7]. Ez dago esan beharrik, adibidez, estres kontzeptuaren baitan askotan ikuskera antropozentrikoa ezkutatu ohi dela. Bestalde, estresa modu askotara definitu izan da [8, 9, 10, 11]. Definizio usuena, ordea, Barrett-ena [12] da: estresagarri den edozein eragileren asaldura sistema baten gainean, eragile estresagarria sistematik kanpoko denean edo, barnekoa izanik, gehiegizko maila batean ezartzen denean. Estresari buruzko ikuspuntu guztiek badute ezaugarri komun bat: estresak sistemen eraginkortasunaren jaitsiera dakar [9].

Estres kontzeptua kausa eta efektu modura ikus daiteke [13]. Kausatzat hartuta, estresa aldagai independentea, bizidunen kanpoko eta tentsioa sortzen duen estimulua da, hau da, kaltegarri gerta litekeen edozein ingurugiro-aldagai, arestian aipatutako definizioen harira, beraz. Efectutzat hartuta, aldiz, estresa aldagai dependentea, bizidunen barnekoa eta erantzun gisa emandako zerbait da. Kasu honetan, funtzio fisiologiko asaldaturen batekin erlazionatuta bide dago. Ildo honetatik, eta itsas bentosaren testuinguruan, Menge-k eta Sutherland-ek [14] bi estres mota bereizi zituzten: (1) fisikoa, bizidunen gainean nolabaiteko indar mekanikoa egiten denean (ingurune mugimenduak edo objektu mugikorrekiko talkak); (2) fisiologikoa, bizidunen erreakzio biokimikoen tasak aldatzen direnean. Edonola ere, eragile

estresagarriak izaera fisikoa, kimikoa nahiz biologikoa izan dezake. Aipaturiko egileen aburuz, estresaren ondorioei erreparatuz gero, ondoko sailkapena onartu behar da: (a) kalterik gabeko estresa; (b) estres azpihilgarria; (c) estres hilgarria. Erabat hilgarria den estres motari «perturbazio» (*disturbance*) izena eman diote, hau ere fisikoa zein fisiologikoa izan daitekeelarik. Estresaren eta perturbazioen arteko bereizketa, maila kontua besterik ez da ikertzaile hauentzat. Beste batzuentzat, komunitate mailako estresa da perturbazioa [11].

Errotuen dagoen ikuspuntutik, ordea, perturbazioak gertaera fisiko, kimiko edota biologiko diskretu samarrak dira, modu zuzenean edo zeharkakoan elikagaia eta espazioa bezalako baliabideak asaldatzen edo suntsitzen dituztenak eta komunitateen egitura eta funtzioa baldintzatzen dituztenak, bertako osagaiak diren bizidunen desplazamenduak edo kalteak (heriotzarainokoak) direla medio [13]. Perturbazio motako fenomenoek bereizgarriak dira komunitateko biomasaren zati baten desagertzea edota hainbat banakoren nahiz bizidun koloniakoi eta modularren (bereziki itsas bentosean) alderdiren baten hilkortasuna [15]. Bestalde, perturbazioek, ekologiaren edozein antolakuntza-mailatan izan dezakete eragina, eta batzuetan maila jakin batean (adibidez, espezie edo populazio) erabat kaltegarri suertatu arren, beste batean (adibidez, komunitate edo ekosistema) onuragarri edo lagungarri izan daitezke [9]. Esandakoaren froga nabarienak, edo eza-gunenak behintzat, lehorretik etorri izan dira, baso-suteetatik hain zuzen.

Terminologia kontuetara berriro itzuliz, esan beharra dago ingelesezko «*disturbance*» berbaren ordean, euskarazko «perturbazio» berba onartuz gero, anglosaxoien «*perturbation*»-arekin nahasteko arriskua dagoela. Izan ere, ekologian, *disturbance* eta *perturbation* hitzen arteko bereizketa aipatutako kausa-efektu dikotomiari ere omen dagokio, nahiz eta eskarmentu handiko ikertzaile batzuek onartu sinonimotzat ere har daitezkeela [16]. Guk «perturbazio» onetsiko dugu, gaztelaniazko «*disturbio*»-ak eta horrelakoak («istiluak» erabili behar izango genuke?) baztertuz.

Giza poluzioa, zenbait estres eta perturbazioen eragile

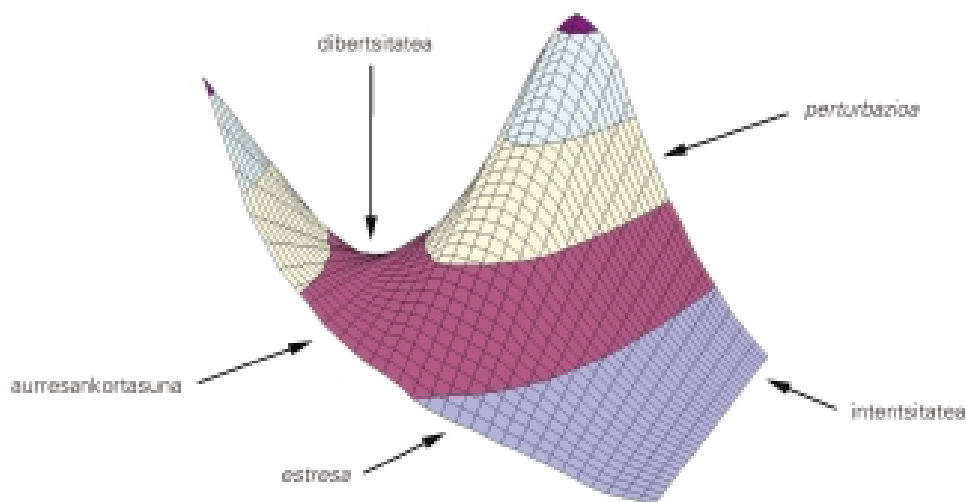
Ikertzaileek ia aho batez onartzen dute aldizkako perturbazioek komunitateen segida ekologikoarekin zerikusi handia dutela. Aurreko artikuluan [17] esan bezala, perturbazioek, berrezarpenak eta lehiaketak komunitateen antolaketarako garrantzi handiko ondorioak dituen zikloa osatzen dute, bereziki itsas bentosean. Bestalde, perturbazioak estresa baino denbora-eskala txikiagoei dagokie. Hau guztia kontuan hartuta, perturbazioak eta estresak indar desegituratzaile ezberdintzat hartzeko joera sendotuz joan da. Hortaz, «perturbazioen literatura» deritzonak intentsitate ertaineko ingurugiro-presioen eta dibertsitatearen aldi bereko igoera islatzen duen bezala,

«estresaren literaturak» aldagaien baten igoyerarekin batera dibertsitatearen beherakada islatzen du gehienetan (1. irudia).

Badirudi «auresankortasuna» fenomenoaren ezaugarri erabakigarria dela «zerbait» perturbazioen ala estresaren barruan sailkatu ahal izateko: perturbazioak nahiko auresangaitzak dira. Lewis-en arabera [18], gizakiaren itsas ekosistemen gaineko eraginak estres modukoak dira gehienbat, erantzunak norabide bakarrekoak eta metagarriak izaten baitira. Hala ere, poluitzaile asko, komunitateen gaineko presio mota dela eta, perturbazioen eta estresaren arteko nahastetzat har daitezke [5].

Itsas poluzioaren barruan, ingurugiro-estres motarik ezagunena eta aztertuenena da aberaste organikoa eta honek dakarren uretako eutrofizazioa [19, 20, 21, 22]. Makrofaunaren ikerketarako baliagarri diren hainbat metodo eta eredu enpirikoren jatorria edo iturburua da bera (horien artean, [23, 24, 25, 26]). Aipatutako ereduaren oinarria zama organikoa eta komunitateen zenbait egitura-parametroren (espezie-aberastasuna, ugaritasuna, biomasa, espezieen zein banakoen batez besteko gorputz-tamaina...) arteko korrelazioetan datza.

Kostaldeetako substratu gogorrei dagokiela, giza jarduerak eragindako sedimentazioa eta, honekin batera, ur-zutabeko uhertasunaren igoera nahiz argi-transmisioaren jaitsiera, bertako bizidunek jasaten duten estres motarik



1. irudia. Bizidunen gaineko ingurugiro-presio kaltegarriak bi mota nagusitakoak izan daitezke: perturbazioak eta estresa. Perturbazioen kasuan, dibertsitate maila altuenak intentsitate ertaineko ingurugiro-presioekin batera gertatzen dira, eta estresaren kasuan presio minimoekin baino ez. Kasuistika oso zabala denez, irudiko eskema proposatu da, bi mutur horien (perturbazioen eta estresaren) arteko espazioa auresankortasunak definitzen duela. (Egilearen irudia)

arruntena eta larriena da [27]. Bestalde, epifaunaren gainean TBT konposatuak (itsasontzietarako *antifouling*-pinturetan dagoenak) daukan eragina perturbazioen eta estresaren arteko konbinazioaren adibiderik argienetakoa bide da [28].

Ikertzaileek ahalegin handiak egiten dituzte giza poluzioaren itsas bizidunen gaineko eraginak aztertzen. Honela, itsas ekosistemen inpaktuen aurreko erantzun-patroi edo erduei buruzko ezaguera multzo oso bat gorpuztuz joan da denboraren poderioz. Ezin aipatu gabe utzi joera horien Odum [9], Gray [20], Rapport [29] edota Weston-en [21] sintesi-lanak. Azken hauek laburbilduz, ekosistema estresatuetan aztertutako prozesuak segida ekologiko batekoen alderantzizkoak dira nolabait eta poluzio-gradiente batean zehar taxon bakoitzaren ugaritasunak aldaketa-patroi berezia dauka, inpaktu-eragilearen aurreko erantzun mota eta maila ezberdinak baitira espeziez espezie.

POLUZIOARI BURUZKO IKERKETAK ETA INGURUGIRO-JARRAIPENEN PROGRAMAK

Poluzioa eta bere jarraipena

Planeta osoan zehar gizakiak idatzitako kostalde-ustiapenaren historia nahiko luzea da dagoeneko. Gaur egun, adibidez, munduko alde industrializatuen biztanleen %50 kilometro bakar bateko kostalde-gerriko batean bizi dira. Berezi inguru hauetan egindako erasoen artean (gehienak poluziotzat har daitezkeenak), hauexek aipa daitezke: industri eta hiri-hondakinen isuriak, kostalde-lerroaren aldaketak eta eraikinak, itsasoaren bidezko garraioa eta batez ere horren ondorioak (isuriak eta kanpoko espezieen sarrera, besteak beste) eta animalien nahiz landareen bilketa. Kontinente/itsaso ukipen-eremuen interes ekonomiko handia kontuan hartuta, gainera, erraz jabetuko gara itsasoarekin loturiko ingurugiro-arazoaren artean eremu honetakoak ardurarik handiena erakartzen dutenak izatea [30, 31].

XX. mendeko bigarren zatian, pentsamolde-eboluzio txiki bat gauzatu joan zelarik, ozeanoek hondakinen kopuru mugagabeak bereganatu eta garbitzeko ahalmena daukatelako ideia baztertu zen [32, 33]; teoriarabaztertu, planteamendu praktikoetan ez hainbeste, gaineratu beharko genuke (2. irudia). Egun, poluzio-maila «onargarriak» finkatzera bideratutako erabaki politikoak hartzerakoan, hiru ardatz nagusi erabiltzen dira: (a) giza osasunaren gaineko arriskuak; (b) garrantzi ekonomikodun populazioen gaineko eraginak; (c) espezie-dibertsitatearen kontserbazioa [3].

Ingurugiro-jarraipenak (*environmental monitoring*) honelako definizioa onartzen du: ekosistemen zenbait parametroren aldizkako neurketa [32], zeinaren bidez habitaten narriadurarekin edo berreskurapen-programen era-



2. irudia. Gaur egun oraindik itsasoek hondakinen kopuru handiak jasan behar izaten dituzte. Hala ere, gogorarazi behar da poluzioaren «aurpegi» larriena dela askotan ikusten ez duguna, baina, modu lausoan gertatzen delarik, kronikoa eta metagarria dena. Irudian, giza eraikinen eta hondakinen ondorioz, leku askotako marearteko substratu gogorrek aurkezten duten egoera larria. (Egilearen argazkia)

ginkortasunarekin lotutako aldaketa ekologiko esangarriak atzeman nahi baitira [10, 18]. Ingurugiro-jarraipeneko programetan mota askotako teknikak sar daitezke eta zientziaren hainbat diziplinak parte har dezakete: mikrobiologia, kimika, ekologia, geologia, ozeanografia, etab. Askotariko arazoiek, ordea, diziplina arteko programak eragozten dituzte [32]. Ondorioz, usuena izaten da jarraipen kimiko, ekologiko edota mikrobiologikorako programak garatzea. Edozein jarraipen-programaren helburuek badute zerikusi handia arestian aipaturiko erabakien ardatz nagusiekin (giza osasuna, baliabideak/ekonomia, dibertsitatea/ekosistemak), baina, horietaz gain, kasuz kasuri dagokion erakundea (publikoa edo pribatua), egiten ari den ingurumenaren erabilera murriztu, aldatu edo jarraitu ahal izateko informazioaz hornitzeko erantzukizuna gaineratu behar da [34].

Hauexek dira edozein jarraipen-estrategiari eskatu dakizkiokeen bete-behar batzuk: azkartasuna, erraztasuna, sentikortasuna, sendotasuna eta «errepikagarritasuna». Etengabeko erronkaren bat, hain zuzen, prestakuntza handirik gabeko pertsonen eta baliabide eskaseko laborategietan aurrera eramateko errazak diren prozedura objektiboak garatzen lortzea da [3, 35].

Badago arreta handiz aztertu beharreko faktore bat: denbora, alegia. Ingurugiro-prozesuak motelak, arraroak edota aldakortasun handikoak diren ala azkarrak, zorrotzak edota bat-batekoak ote diren kontuan hartuta, epe luzerako (*long term*) ala epe motzerako (*short term*) jarraipeneko ikerketak

jarri beharko dira abian, hurrenez hurren [27]. Denboran zehar luzaturiko jarraipen-lanen alde, esan beharra dago itsas inguruneen oinarritzko ezagueraren aurrerapen handiak ekarri ohi dituztela. Fenomenoen larritasunaren testuinguruan, gogoraziko dugu itsas poluzio gehiena kronikoa eta metagarria dela eta ez dagoela istripu larri eta lazgarrien menpe, zenbait albisteen oihartzunak iradoki bezala [4, 18]. Aitzitik, oharkabean eta modu lau-soan gertatzen diren baina, espazio nahiz denboraren ikuspuntutik, munta handikoak izan daitezkeen kalte azpihilgarriek apurkako endekapen prozesuetarantz eramaten dituzte ekosistemak. Horrelako prozesuek, aztertzeo zailak direnez, esperientzia zabala eskatzen diete ikertzaile taldeei [5, 26].

Jarraipen biologikoa

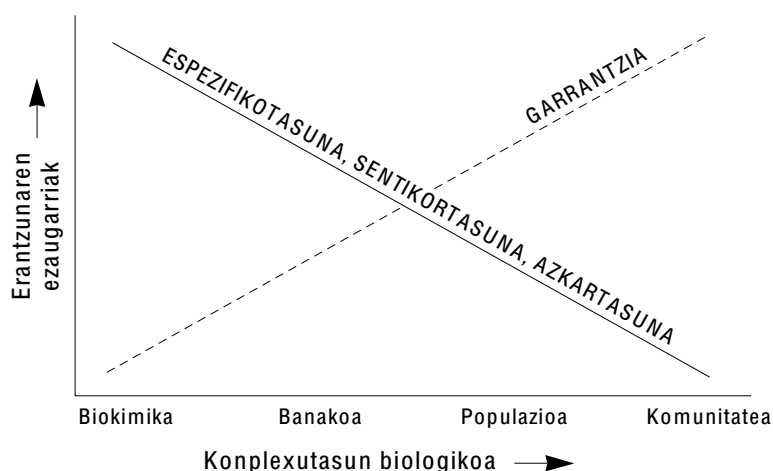
Ikusi dugun bezala, ingurugiro-jarraipenera badago hainbat diziplinetatik iristerik. Oro har, ordea, bi hurbilketa nagusi bereizi behar dira: jarraipen kimikoa (*chemical monitoring*), zeinaren bitartez substantzia poluitzaileen mailak kuantifikatzen baitira, eta jarraipen biologikoa, hau da, substantzia horien bizidunen gaineko eraginen jarraipena (*biological effects monitoring* edo *biological monitoring*) [36]. Luzaroan, poluzioaren alderdi kimikoei buruzko ezaguera eragin biologikoena baino aurrerratuago joan den arren [37], bizidunen gaineko eraginekiko interesa nabaria da, zeren, azken finean, habitaten narriaduraren adierazlerik egokienak edo islatzailerik hurbilenak bertoko animaliak eta landareak baitira [38, 39].

Kimikaren aldean, biologiaren oztoporik handiena prozedura estandarizatuen gabezia da, baina kimikak, aldiz, eragozpen teoriko nabarmenak ditu: (1) zenbait konposaturen kontzentrazio-aldaketa ñimiñoek ur-kalitatean eragin handia izan dezakete; (2) substantzia batzuk kaltegarriak ez izan arren, beste batzuekin konbinatuta kaltegarri suerta daitezke, eta alderantziz; (3) identifikatu gabeko substantziak egon daitezke ingurunean; (4) azterketa egokirik ez da posible, baldin eta poluitzaileen uretako edo jalkinetako mailak ez badira erlazionatzen ehun biologikoen mailekin [21, 40]. Hortaz, kimikaren ekarpena gutxietsi gabe, bizidunen oinarritzko abantaila aipatuko dugu hemen. Eragile kaltegarrien (substantzia poluitzaileak barne) efektu sinergiko eta antagonikoen aurrean erreakzionatzen dutenez, organismoak baliagarriak dira toki jakin bateko denboran zeharreko baldintzen ikuspegi integratua lortzeko, eta ez dira mugatzen, metodo analitikoaren antzera, «uneko argazkia» soilik ematera [34, 41, 42].

Azken hamarkadetan, eta jarraipen biologikoaren barruan, biotaren gaineko kalte azpihilgarrien detekzioan eman diren aurrerapausoek zenbait bideri jarraitu zaizkie: markatzaile biokimikoen bidea (adibidez, entzima jakin batzuen indukzioa), markatzaile fisiologikoena (adibidez, *Scope For Growth* edo *SFC* delakoa) eta komunitate mailako markatzaileena (hurrengo atalean

aztertuko ditugunak) [37]. Hau da, konplexutasun biologikoaren eskala osoan zehar (molekulak zelulak banakoak populazioak komunitateak) burutu dira ikerketak. Puntu honetan, jarraipen biologikoaren eztabaida handienetako bat ageri zaigu, «banakoak/komunitateak» aukeraketari dagokiona, alegia. Banako mailatik beherako metodoak (biokimikoak, zelularrak), mutur batean, sentikorreragotzat eta erantzun azkarragokotzat hartzen diren neurrian [3, 43], komunitateen azterketak, beste muturrean, perturbazio edota estresen ondorio ekologikoak hobeto isla ditzake nonbait; are gehiago, ondorio ekonomiko eta sozialetatik ere hurbilago dagoke [3, 44]. Honen guztiaren laburpen grafikoa 3. irudiko Addison-en [37] eskema da. Egile bartzuen ustez [13, 45], biokimika edo zelula mailako seinaleetatik abiatuta ezin daitezke ziurtasunez auresan komunitate mailaren gaineko ondorioak.

Ikertzaile askoren ideala, jarraipen biokimiko, zelular, fisiologiko eta ekologikoaren konbinazioa dateke [3, 46], maila «zuzenik» ez baitago poluzioaren ikerketa-lanetan. Aitzitik, «goiko» mailek poluzioak sortutako eraginaren informazio osoagoa ematen badute ere, «behekoek» egokiagoak omen dira poluitzaileek nola jokatzten duten argitzeko orduan [47].



3. irudia. Komunitate mailak ematen dituen erantzunen espezifikotasuna, sentikortasuna eta azkartasuna konplexutasun biologikoaren maila baxuagoetan lortzen direnak baino txikiagoak dira. Haien garrantzi ekologikoa, ordea, handiena da. ([37] erreferentziatik moldatua)

Jarraipen ekologikoa

Jarraipen ekologikoa ekologiak aztertzen dituen konplexutasun biologikodun mailei dagokien jarraipen biologikoa da. Ekologia, bizidunen banaketa eta ugaritasuna mugatzen dituzten elkarrekintzen azterketa zientifikoa

izanik [48], ekologoen zeregin nagusia hauxe dateke: bizidunez osatutako komunitate bat zergatik denbora-tarte jakin batean eta eremu jakin batean bizi den azaltzeko behar den ezaguera zientifikoa eskuratzea [49]. Poluzio-ari eta ingurugiro-jarraipenari dagokiela, «estres-ekologia» aipatu behar da, estresaren nahiz perturbazioen ekosistemen egitura eta funtzioaren gaineko inpaktuak aztertzen dituen azpidiziplina, alegia [12].

Jarraipen ekologikorako programen zergatien eta nolakoan inguruko eztabaidak intentsitate handiko boladak zeharkatu ditu [50]. Gaur egun oraindik oso ikuspuntu ezberdinak daude, hurbilketa metodologikoen oparotasunak islatzen duen bezala. Alde batetik, komunitateen egitura-ezaugarrietan (banakoen eta taxonen ugaritasuna, biomasa, etab.) oinarritutako metodologiak daude; bestetik, funtzionamendu-neurrien hurbilketa (ekoizpena, adibidez), askotan bizidunen izaera taxonomikoaren informazioa (espezie-osaera, hain zuzen) alde batera uzten duena. Bada-go hirugarren teknika sorta handi bat, organismo adierazleak eta indize biotikoak kontuan hartzen dituen [11, 46, 51]. Lehenengo multzoa edo hurbilketa oso erabilia da eta hainbat prozedura hartzen ditu barnean; bi mota nagusi bereiz daitezke: taxon guztien arteko kidetasun globaletan oinarritutakoa (aldagai anitzeko analisiak, adibidez ordenazioa) eta indize sintetikoak maneiatzen dituen (dibertsitatea eta kidetasuna, besteak beste) [51].

Oro har, jarraipen ekologikoaren lagintze-, analisi- eta interpretatze-estrategiak, aspaldian ekologiaren ikerketa deskriptiboen testuinguruan garatutakoei dagozkie [52]. Honela bada, komunitateen segida ekologikoaren kontzeptutik datoz jarraipen mota honen ardatz-ideia asko [19, 27]. Alderantziz ere, jarraipen-programetarako baliagarri gerta daitezkeen ekosistemen ezaugarrien edo osagaien bila jardun izanak oinarritzko ekologiaren ikerketei bultzada bat baino gehiago eman izan dizkio. Esan dezagun jarraipen ekologikoaren inguruan oinarritzko zientzia eta zientzia aplikatua elkarren osagarri izateaz gain, gainjarri ere egiten direla, azken finean bi jakite-eremu horietan gehienetan ikerketa talde berberak aritzen baitira [49].

Jarraipen ekologikoaren eragozpenetan, ondokoak aipa daitezke:

- (a) sentikortasun (erlatiboki) murriztua [46]. Schindler-en arabera [35], ekologiaren bidez oraindik ez gara gai ekosistemen gaineko kalteak etapa goiztiarretan atzemateko.
- (b) ingurugiro-arazoaren kokalekutik kanpoko kontrol moduko laginketa-tokiak erabili beharra [10].
- (c) espezieen zerrendak eta haien ugaritasunen matrizeak lortze-prozesuari lotutako zailtasunak eta denbora-kontsumo handia [46, 53].
- (d) aipatutako zerrendek eta matrizek askotan informazio «erredundantea» gordetzea [54].

- (e) talde taxonomiko jakin batzuetara mugatu beharra eta honek dakarren ondorioa, komunitate bereko hainbat informazio-iturri balio-tsuren bazterketa, hain zuzen [55].

Hala ere, oztoporik handiena da giza jatorriko perturbazioen edota estresaren seinalea nahasten duten prozesu naturalek («zarata» izenekoek) ekarritako aldaketak edo ezberdintasunak atzematea eta bereiztea [10, 50, 53]. Izan ere, itsas ekosistemek berezko aldakortasun oso handia erakutsi ohi dute, populazioen errekrutamendu, inmigrazio, emigrazio, hilkortasun eta hazkundean gertatzen diren espazio- eta denbora-aldaketak direla eta. Poluzioak sortutako inpaktuen aurreko erantzuna norabide bakarrekoa eta metagarria izan ohi dela onartzen bada ere [18], ezaugarri hauek ez bide dira nahikoak bizidunen erantzun motak bereizteko, eta horregatik, iker-tzaile gehienen ustez, «zarata» maila basalak neurtzea da aurretiko baldintza funtsezkoa. Arazo honi aurre egiteko, baina, bestelako irtenbide batzuk proposatu izan dira, hala nola, hainbat metodoen konbinazioa edo antzeko sistemen (esate baterako, elkarrekiko hurbil dauden eta antzeko samarrak diren bi badien) patroien arteko erkaketa [50].

Edozein analisi-teknikaren garrantzizko propietatea da komunitate baten espezie nagusiak, hau da, komunitateari itxura orokorra ematen diotenak, zenbateraino hartzen diren kontuan [56]. Ildo honetatik, eta jarraipen ekologikoaren oinarritzko arazoak aipatuta utzi ditugularik, nabaria suertatuko zaigu espezie adierazleen eta gako-espezieen kontzeptuen erabilgarritasuna. Informazio garrantzitsua dakarten, identifikazio oso zailekoak ez diren eta laginetatik arazo handirik gabe har daitezkeen espezieak soilik aintzat harturik, badago jarraipen-programen eraginkortasuna handiagotzerik [54].

Organismo adierazleen kontzeptua, zeina ur gezatarako erabili baita itsas inguruntarako baino lehenago, espezie bat edo espezie multzo bat toki jakin batean azaltzeak ingurugiro-baldintza jakin batzuk islatzen dituelako ideian datza, eta baldintza horiek atzemateko seinale bihurtzen da [42, 57]. Bestetik, komunitate baten gako-espezieen (*keystone species*; ikus [17]) erabileraren alde Lewis ikertzaile britainiarra agertu izan da (adibidez, [18]), jarraipen-programen sinplifikazioa eta objektibotasunaren bila. Azkenik, badaude arriskuak espezie isolatuak besterik ez aztertzean eta, horregatik hain zuzen, zenbaitek [54] proposatu ditu jarraipen-indizeak (*monitoring indices*), espezie adierazle ezberdinetan oinarritutako indize biotikoak direnak.

Terminologiari dagokiola, normalean dagoen nahasketa argitu beharrean gaude. «Adierazle biologikoa» («espezie adierazlea», «taxon adierazlea»...) komunitateen esparruan erabiltzeko joera dago, hemen egin dugun bezala. «Bioadierazle», «biomonitor» edo «organismo zaindari» bezalako berbak, aldiz, konplexutasun biologiko txikiagoko mailetan erabili ohi dira, hau da, jarraipen ekologikoa ez den beste jarraipen biologiko motei dagokie. Beste

mota horietako ikerketetan, baldin eta betebeharrak jakin batzuk betetzen baditu, espezieren bat aukeratu eta bere ezaugarriak jakin batzuk ikertu edo analizatzen dira, komunitate bateko kide gisa aztertu gabe (ikus, adibidez, [36, 58]).

ITSAS BENTOSAREN JARRAIPENA. MAKROFAUNA-KOMUNITATEEN ERABILERA

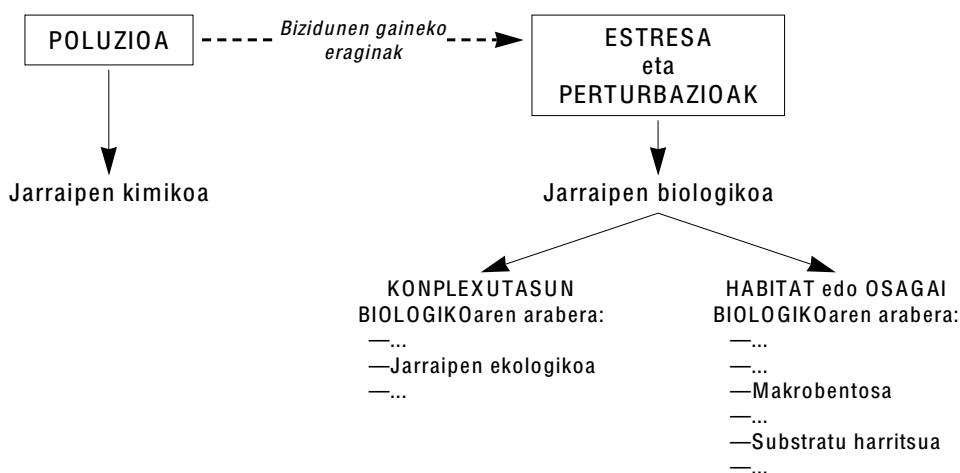
Gehienbat espezie sesilez osatutako komunitateak nagusi dira bai lehorreko habitat gehienetan (landare baskularren kasua), bai eta ur-habitatetako sakonera txikiko hondotan ere (bentosaren kasua). Itsasoari dagokiola, bentoseko bizidunak jomugatzat dituzten ikerketek toki jakin bateko ezaugarriak erakusteko ahalmenik handiena dutela uste da, espezie bentikoek ingurugiro-baldintzak denboran zehar integratzeko gaitasunari esker [24, 26, 27, 34, 41, 59, 60]. Hortaz, bentosaren egitura aztertzea espazioan zeharreko ezberdintasunak nahiz denboran zeharreko aldaketak deskribatzeko oso tresna egokitzat hartu izan da azken hamarkadetan [61]. Honek guztiak ekarri du jarraipen ekologikorako programa askotan bentos itsastarra sartu izana, ondoko arrazoi xeheak aipatu direlarik [24, 26, 60, 62]:

- (a) Sesilitatea, ingurugiro-egoera lokal latzei funtzio hautatzaile saihestezina ematen diena, haien aurrean bizidunek iraun ala hil behar baitute.
- (b) Bizitza-luzera handi samarra.
- (c) Ubikuotasuna eta ugaritasun altuak.
- (d) Garrantzi handiko kokapena hondoen eta ur-zutabearen arteko energi eta materia-jarioetan.
- (e) Presentzia kostaldean, non itsas poluzioaren fenomeno asko gertatzen baitira.
- (f) Giza jardueren ondorioak diren estres-iturriekiko sentikortasuna, hala nola, sedimentazioarekikoa, substantzia toxikoekikoa edo materia organiko partikulatuaren kontzentrazio altuekikoa.
- (g) Talde jakin batzuen taxonomia ez oso korapilotsua.
- (h) Poluzioaren eraginen gaineko bibliografia nahiko zabala.
- (i) Zenbait espezieren garrantzi ekonomikoa.

Ingurune pelagikoaren osagaiak (planktona eta arrainak, batez ere) bentosarekin alderatzerakoan, mugikortasun altua da haien desabantaila nagusia jarraipen-programen ikuspuntutik, mugikortasun horrek baldintza lokalen islatzaile modura hartzeko mesfidantza baitakar. Arrazoi beragatik, aldiz, planktona eremu zabalen integratzaile ezin hobetzat hartu behar bide da [24, 46]. Planktonaren aldean, itsas bentosaren beste bereizgarri bat dibertsitatea da, zeina espezieei, mota trofikoei nahiz tamaina-klaseei (6-7 magnitude-ordena guztira) baitagokio [22]. Izan ere, komunitate bentikoak espezie kopuru handiez osatuta egoten dira; espezieen sentikortasun edo ja-

sankortasun ezberdinei esker, gainera, komunitate hauek bereizmen handi-koak suertatzen dira poluzio-gradienteen aurrean, arestian esan bezala.

Ulegarria da, beraz, bentologo anitzek poluzioaren eraginaren ikerketa-arako komunitate maila aukeratu izana, aurreko atalean ikusitako antolaketak maila horretako abantailak tarte [24, 45, 59]. Makrobentosa (500 μm -tik gorako bizidunen multzoa) da, hain zuzen, ikerketa horietan gehien erabilitako osagai biotikoa [24, 60] (4. irudia). Gaur egun, badirudi munduko alde epeletako espezie makrobentikoei buruzko hainbat urteko ezaguerak (batez ere, makrofaunaren kasuan) nahiko zabalak direla ingurugiro-jarraipenean bere erabilera ziurra bermatu ahal izateko [63].



4. irudia. Ingurugiro-jarraipen moten sailkapen eskematiko honetan artikulurako interesekoak direnak baino ez dira nabarmendu, substratu gogorreko edo harritsu-ko makrobentos itsastarraren jarraipen ekologikoaren esanahi zehatza irakurleak osatu ahal izateko. (Egilearen irudia)

Meiofaunari (<500 μm) dagokionez, belaunaldi laburragoak direla eta, epe motzerako jarraipen-programetarako aproposa bada ere, urte batzuetako perturbazio- edo estres-fenomenoen «memoriarik» ezin du aurkeztu, makrofaunak bezala [61]. Honetaz gain, meiofaunaren erabilerak baditu bestelako eragozpenak programa ekologikoetan, batik bat metodologikoak: denbora- zein espazio-heterogeneitate maila altuak, taxonomia ezezagunagoa eta organismoen tamaina bera [25, 64].

Ingurugiro-jarraipeneko programak aurrera eramateko, jarraipen ekologikoa, eta honen barruan makrofauna-komunitateak, aukeratu arren, ezin aipatu gabe utzi honen guztiaren zenbait «alde ilun». Alde batetik, ikerketa ekosistemen osagai bakar batera mugatzeak interpretazio-aukerak murrizten ditu ezinbestean eta ez ditu kontuan hartzen giza jarduerak ingurugiroa

modu askotara eta eskala ezberdinetan kalte dezaketela. Osagai ezberdinak aztertzen dituzten hurbilketak osoagoak izaten dira, zailagoak eta, honexegatik, urriagoak ere izan arren.

Beste alde batetik, bentoseko komunitateetan oinarritutako jarraipen ekologikoaren historiak zenbait etapa zeharkatu ditu. Garairik latzena «80ko hamarkadako krisia» izan zen, kudeatzaileen ilusio-galtzeak markatu zuena. Laburbilduz, lagintze- eta prozesatze-ahaleginak zirela kausa, oso garestia omen zen mota honetako jarraipena [24, 38]. Kezka zientzialariengana iritsi bezain laster, hauek hainbat «ahuldade» aurkitu zituzten beren lan-estrategian: (1) giza jarduerak komunitate-egituran eragindako kalteak beranduegi atzematen ziren; (2) komunitate bentikoetan atzemandako aldaketa asko aldagai naturalek eragindakoak ziren; (3) interpretazio-metodoak ez ziren oso objektiboak eta eskarmentu handiko ikertzaileen eta ez beste inoren intuizioa eskatzen zuten maiz. Honelako gogoetak ikasbide modura balio izan zuen eta datuen bilketari nahiz analisi estatistikoei zegozkien irtenbideak-edo bilatzen hasi ziren. Azken finean, jarraipen-programen eraginkortasun/kostu erlazioaren hobekuntza nagusitu zen etapa edo garai bati hasiera eman zitzaion, gaur egungo etapari, alegia (gai honi buruz, ikus [52]).

SUBSTRATU HARRITSUKO ITSAS BENTOSAREN JARRAIPENA

Substratu gogorreko bentosa, zehazki, «apartekotzat» jo izan da jarraipen-programetarako (adibidez, [50]). Raffaelli-k eta Hawkins-ek [31], kostaldeko eremu harritsuek ikerketarako aurkezten dituzten abantailak aipatzean («benetako landa-laboreak» dira haien hitzetan), ondoko ezaugarriak nabarmendu zituzten: (a) izaera «bidimentsionala»; (b) espezie gehienaren sesilitatea; (c) teknika ez-suntsitzaileen erabilgarritasuna; adibidez, bizidunen ugaritasuna ikus-tekniken bidez neurtu ahal izatea, substratu biguneko endofaunaren kasuan ez bezala; (d) esperimenezko erraztasunak.

Horri guztiari esker, ziur aski, substratu gogorreko jarraipen ekologikoak onarpen handi samarra izan du azken hamarkadetan, batez ere marearte-ko eremuari dagokiola [18, 46]. Berrikiago, mareazpiko komunitateen egiturak ere interesa sortu du ekologoen artean, bai urpekaritza-ekipoak garatu eta zabaldu direlako, bai eta itsas ekosistemaren barruan, honelako komunitateek duten funtzioaz eta balioaz jabetu direlako ere [65]. Honainokoak, substratu gogorreko itsas bentosaren aldeko argudioak.

Substratu gogorreko flora eta faunaren azterketan sortutako arazoek, baina, ez dute zerikusirik handirik izaten substratu bigunetakoekin eta arazo horiek direla eta, laginketa-kanpaina sistematikoak aurrera eramateko, eta hauen bidez, poluzioak eragindako aldaketen zein aldaketa naturalen jarraipen-programak aurrera eramateko, habitat «guztiz zailak» suertatzen direla esatera

ere iritsi da ikertzailearen bat (adibidez, [66]). Hona hemen, bada, substratu harritsueta dauden zailtasunak. Batzuetan, ikuspegi teoriko batetik, komunitate-egituraren konplexutasuna aipatzen bada ere, eztabaida ia osoa alde praktikoei dagokie (denbora-kontsumo altua, gehiegizko lana...) [18].

Substratu gogorrean, bizidun gehienak sesilak direnez, badago azala erabat garbitzea eta organismo guztiak biltzea [18]. Honelako metodo suntsitzaileak, ordea, ez dira oso gomendagarriak [27, 31] ez eta oso erabiliak ere, nahiz eta biomasa neurtzeko eta, beraz, komunitateen kuantifikazio zehatza egiteko, metodo saihestezinak izan (Bilboko Abraren berreskuratzearen testuinguruan, ikus [67, 68] jarraipen-lanak). Teknika ez-suntsitzaileen bitartez (adibidez, [69]), aldiz, gertatzen diren aldaketak toki berean hainbat aldiz ikertzeko aukera interesgarria eskaintzen dute komunitate hauek. Ikerketen mugarik handiena denbora izaten da kasu askotan, arrazoi ezberdinengatik marea artean (non itsasaldien mendekotasuna erabatekoa baita) eta mareazpian (non aire konprimatuaren bolumenak agintzen baitu) [18].

Arestian esan bezala [17], kostaldeko eremu harritsuak ekologiaren garapenarekiko lotura handia dute, zientzia horren hainbat aurrerapen nagusi bertan gauzatu baitira. Substratu gogorreko bentosaren jarraipenaren historiak [70] 40 eta 50eko hamarkadetan zehar T. A. Stephenson, A. J. Crisp, A. J. Southward edota J. R. Lewis bezalako ikertzaileek hasitako deskripzio-lanetan ditu sustraiak. Horrelako ikerketak teknika sistematikoagoekin osatuz joan ziren, 70eko hamarkadaren erdialdera komunitateen aldaketak aztertzeko eta neurtzeko (hau da, jarraipenak egiteko) erabili ziren arte.

Ordutik hona, aurrerabideak ireki dira komunitate hauen inguruan, bai biota beraren ezaguerari dagokiola, bai eta erabilitako teknikei dagokiela ere. Izan ere, ondorengo joerak aipa daitezke:

- (1) Irudietan (argazkiak zein bideoa) oinarritutako tekniken garapen eta erabilera handiagoa, gehienetan bizidunen neurketa erdikuantitatiboekin (gehienbat, estaldurarekin) lotuta [56, 71, 72]. Askotan beste modu batera eskuragaitza suertatzen den informazioa eskaintzen dute teknika hauek [73].
- (2) Habitat edo mikrohabitat mota jakin baten hautaketa, aldaketa naturalen («zaraten») eragina txikiagotuz [4]. Alga feofizeo batzuen errizoideek, adibidez, sentikortasun handia erakutsi dute jarraipen-programetan [74]. Bestalde, makroalga ezberdinen hazkundeak eratutako geruzen araberako ikerketak interes handia sortu [65].
- (3) Komunitate egonkorren bilaketa. Mosaiko gisa antolatutako sistema konplexu eta aldakorren interes zientifiko altuagoa onartu arren, jarraipenerako ez dira hobesten [75].
- (4) Behin betiko jarraipen-ikerketaren aurretik, ikerketa pilotuak aurrera eramateko beharra [67, 76] eta, bestalde, epe luzerako programak garatzeko premia [44, 69, 77].

- (5) Ahalegin-murrizketa eta eraginkortasun/kostu erlazioaren optimizazioa. Helburu honekin, espezieen matrizeak txikiago bihur daitezke irizpide ezberdinen arabera [42], edota espezie baino maila taxonomiko altuagoak erabil daitezke, baldin eta galdutako informazioa atalase-maila batetik behera badago [53]. Azken joera honek aldekoak eta aurkakoak ditu ikertzaileen artean, baina estrategiaren abantailak nabariak dira eta etorkizunean arrakastatsua izango dela koan gaude, baita euskal jarraipen-programetan ere [68, 78, 79].

ESKER ONAK

J.I. Saiz Salinas-i, poluzioaren jarraipenaren bidea adierazteagatik eta poluzioaren adierazleen bidea nirekin jarraitzeagatik. Artikulua hobetu dutenei, K. Altonaga eta I. Zabalari bereziki.

BIBLIOGRAFIA

- [1] GESAMP (JOINT GROUP OF EXPERTS ON THE SCIENTIFIC ASPECTS OF MARINE POLLUTION). 1982. «Scientific criteria for the selection of waste disposal sites at sea». *Reports and Studies (UNESCO)* **16**, 1-60.
- [2] CLARK R.B. 1992. *Marine pollution (third edition)*. Clarendon Press, Oxford.
- [3] UNDERWOOD A.J. eta PETERSON C.H. 1988. «Towards an ecological framework for investigating pollution». *Marine Ecology Progress Series* **46**, 227-234.
- [4] LITTLE C. eta KITCHING J.A. 1996. *The biology of rocky shores*. Oxford University Press, Oxford.
- [5] GRAY J.S. 1979. «Pollution-induced changes in populations». *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, series B (Biological Sciences)* **286**, 545-561.
- [6] BOERO F. 1994. «Fluctuations and variations in coastal marine environments». *Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli. Marine Ecology* **15**, 3-25.
- [7] GRIME J.P. 1989. «The stress debate: symptom of impending synthesis?» In: Calow P. eta Berry R.J. (Edk.). *Evolution, ecology and environmental stress*. Academic Press, London.
- [8] BARRETT G.W. eta ROSENBERG R. (Edk.). 1981. *Stress effects on natural ecosystems*. Wiley-Interscience Publications, Chichester.
- [9] ODUM E.P. 1985. «Trends expected in stressed ecosystems». *BioScience* **35**, 419-422.
- [10] DAUER D.M., LUCKENBACH M.W. eta RODI A.J. JR. 1993. «Abundance biomass comparison (ABC method): effects of an estuarine gradient, anoxic/hypoxic events and contaminated sediments». *Marine Biology* **116**, 507-518.
- [11] ELLIOTT M. eta MCLUSKY D.S. 1985. «Invertebrate production ecology in relation to estuarine quality management». In: Halcrow W. eta Wilson J.G. (Edk.). *Estuarine management and quality assessment*. Plenum Pr., New York.

- [12] BARRETT G.W. 1981. «Stress ecology: an integrative approach». In: Barrett G.W. eta Rosenberg R. (Edk.). *Stress effects on natural ecosystems*. Wiley-Interscience Publications, Chichester.
- [13] ELLIS J.I., NORKKO A. eta THRUSH S.F. 2000. «Broad-scale disturbance of intertidal and shallow sublittoral soft-sediment habitats; effects on the benthic macrofauna». *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery* **7**, 57-74.
- [14] MENGE B.A. eta SUTHERLAND J.P. 1987. «Community regulation, variation in disturbance, competition and predation in relation to environmental stress and recruitment». *The American Naturalist* **130**, 730-757.
- [15] HUSTON M.A. 1994. «Non-equilibrium processes and the maintenance of local species diversity». In: Huston M.A. 1994. *Biological diversity. The coexistence of species on changing landscapes*. Cambridge University Press, London.
- [16] UNDERWOOD A.J. 1989. «The analysis of stress in natural populations». In: Calow P. eta Berry R.J. (Edk.). *Evolution, ecology and environmental stress*. Academic Press, London.
- [17] PAGOLA CARTE S. 2002. «Substratu gogorreko bentos itsastarra (I): hainbat aniztasunen gunea». *Ekaia* **15**, 7-21.
- [18] LEWIS J.R. 1976. «Long-term ecological surveillance: practical realities in the rocky littoral». *Oceanography and Marine Biology. Annual Review* **14**, 371-390.
- [19] PEARSON T.H. eta ROSENBERG R. 1978. «Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment». *Oceanography and Marine Biology. Annual Review* **16**, 229-311.
- [20] GRAY J.S. 1989. «Effects of environmental stress on species rich assemblages». In: Calow P. eta Berry R.J. (Edk.). *Evolution, ecology and environmental stress*. Academic Press, London.
- [21] WESTON D.P. 1990. «Quantitative examination of macrobenthic community changes along an organic enrichment gradient». *Marine Ecology Progress Series* **61**, 233-244.
- [22] HEIP C. 1995. «Eutrophication and zoobenthos dynamics». *Ophelia* **41**, 113-136.
- [23] WARWICK R.M. 1986. «A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities». *Marine Biology* **92**, 557-562.
- [24] WARWICK R.M. 1993. «Environmental impact studies on marine communities: Pragmatical considerations». *Australian Journal of Ecology* **18**, 63-80.
- [25] HEIP C., WARWICK R.M., CARR M.R., HERMAN P.M.J., HUYS R., SMOL N. eta VAN HOLSBEKE K. 1988. «Analysis of community attributes of the benthic meiofauna of Frierfjord/Langesundfjord». *Marine Ecology Progress Series* **46**, 171-180.
- [26] GRAY J.S., CLARKE K.R., WARWICK R.M. eta HOBBS G. 1990. «Detection of initial effects of pollution on marine benthos: an example from the Ekofisk and Eldfisk oilfields, North Sea». *Marine Ecology Progress Series* **66**, 285-299.
- [27] JAN R.-Q., DAI C.-F. eta CHANG K.H. 1994. «Monitoring of hard substrate communities». In: Kramer K.J.M. (Ed.). *Biomonitoring of coastal waters and estuaries*. CRC Press, Boca Raton.
- [28] LENIHAN H.S., OLIVER J.S. eta STEPHENSON M.A. 1990. «Changes in hard bottom communities related to boat mooring and tributyltin in San Diego Bay: a natural experiment». *Marine Ecology Progress Series* **60**, 147-159.

- [29] RAPPORT D.J. 1989. «Symptoms of pathology in the Gulf of Bothnia (Baltic Sea): ecosystem response to stress from human activity». In: Calow P. eta Berry R.J. (Edk.). *Evolution, ecology and environmental stress*. Academic Press, London.
- [30] GOLDBERG E.D. 1994. *Coastal zone space. Prelude to conflict?* UNESCO Publishing, Paris.
- [31] RAFFAELLI D. eta HAWKINS S. 1996. *Intertidal ecology*. Chapman & Hall, London.
- [32] REISH D.J. 1973. «The use of benthic animals in monitoring the marine environment». *Journal of Environmental Planning and Pollution Control* **1**, 32-38.
- [33] MCLUSKY D.S. 1999. «Estuarine benthic ecology: A European perspective». *Australian Journal of Ecology* **24**, 302-311.
- [34] BILYARD G.R. 1987. «The value of benthic infauna in marine pollution monitoring studies». *Marine Pollution Bulletin* **18**, 581-585.
- [35] SCHINDLER D.W. 1987. «Detecting ecosystem responses to anthropogenic stress». *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **44**, 6-25.
- [36] KRIVOLUTZKY D.A. 1986. «Animals as bioindicators». In: The International Union of Biological Sciences (Ed.). *Biological monitoring of the state of the environment: bioindicators*. Paris.
- [37] ADDISON R.F. 1992. «Detecting the effects of marine pollution». In: Smith T.E. (Ed.). *Science review of the Bedford Institute of Oceanography, the Halifax Fisheries Research Laboratory, and the St. Andrews Biological Station*. Scotia-Fundy Region of the Department of Fisheries and Oceans Dartmouth.
- [38] MCINTYRE A.D. 1984. «What happened to biological effects monitoring?». *Marine Pollution Bulletin* **15**, 391-392.
- [39] PEARCE J.B. 1998. «A short history of marine environmental monitoring». *Marine Pollution Bulletin* **37**, 1-2.
- [40] GESAMP (JOINT GROUP OF EXPERTS ON THE SCIENTIFIC ASPECTS OF MARINE POLLUTION). 1980. «Monitoring biological variables related to marine pollution». *Reports and Studies (UNESCO)* **12**, 1-22.
- [41] DIAZ R.J. 1992. «Ecosystem assessment using estuarine and marine benthic community structure». In: Burton G.A. Jr. (Ed.). *Sediment Toxicity Assessment*. Lewis Publishers, Boca Raton.
- [42] SAIZ-SALINAS J.I. eta URKIAGA-ALBERDI J. 1999. «Use of faunal indicators for assessing the impact of a port enlargement near Bilbao (Spain)». *Environmental Monitoring and Assessment* **56**, 305-330.
- [43] IVANOVICI A.M. eta WIEBE W.J. 1981. «Towards a working «definition» of «stress»: a review and critique». In: Barrett G.W. eta Rosenberg R. (Edk.). *Stress effects on natural ecosystems*. Wiley-Interscience Publications, Chichester.
- [44] DYE A.H. 1998. «Community-level analyses of long-term changes in rocky littoral fauna from South Africa». *Marine Ecology Progress Series* **164**, 47-57.
- [45] UNDERWOOD A.J. 1993. «The mechanics of spatially replicated sampling programmes to detect environmental impacts in a variable world». *Australian Journal of Ecology* **18**, 99-116.
- [46] GRAY J.S. 1980. «Why do ecological monitoring». *Marine Pollution Bulletin* **11**, 62-65.

- [47] MALTBY L. 1999. «Studying stress: the importance of organism-level responses». *Ecological Applications* **9**, 431-440.
- [48] KREBS C.J. 1986. *Ecología. Análisis experimental de la distribución y abundancia (tercera edición)*. Ediciones Pirámide S.A., Madrid.
- [49] LEWIS J.R. 1980. «Objectives in littoral ecology - A personal viewpoint». In: Price J.H., Irvine D.E.G. et al Farnham W.F. (Edk.). *The shore environment. Volume I: methods*. Academic Press, London.
- [50] CHRISTIE H. 1985. «Ecological monitoring strategy with special reference to a rocky subtidal programme». *Marine Pollution Bulletin* **16**, 232-235.
- [51] WASHINGTON H.G. 1984. «Diversity, biotic and similarity indices. A review with special relevance to aquatic ecosystems». *Water Research* **18**, 653-694.
- [52] KINGSTON P.F. et al RIDDLE M.J. 1989. «Cost effectiveness of benthic faunal monitoring». *Marine Pollution Bulletin* **20**, 490-496.
- [53] WARWICK R.M. 1988. «The level of taxonomic discrimination required to detect pollution effects on marine benthic communities». *Marine Pollution Bulletin* **19**, 259-268.
- [54] ROBERTS R.D., GREGORY M.R. et al FOSTER B.A. 1998. «Developing an efficient macrofauna monitoring index from an impact study - A dredge spoil example». *Marine Pollution Bulletin* **36**, 231-235.
- [56] FOSTER M.S., HARROLD C. et al HARDIN D.D. 1991. «Point vs. photo quadrat estimates of the cover of sessile marine organisms». *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **146**, 193-203.
- [57] SOULE D.F. et al KLEPPEL G.S. 1988. *Marine organisms as indicators*. Springer-Verlag, New York.
- [58] PHILLIPS D.J.H. et al SEGAR D.A. 1986. «Use of bio-indicators in monitoring conservative contaminants: programme design imperatives». *Marine Pollution Bulletin* **17**, 10-17.
- [59] REISH D.J. 1987. «The use of benthic communities in marine environmental assessment». In: Malagrino G. et al Santoyo H. (Edk.). *Memorias del V Simposio de Biología Marina, Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, Mexico*.
- [60] ALDEN III R.W., WEISBERG S.B., RANASINGHE J.A. et al DAUER D.M. 1997. «Optimizing temporal sampling strategies for benthic environmental monitoring programs». *Marine Pollution Bulletin* **34**, 913-922.
- [61] HEIP C. 1992. «Benthic studies: summary and conclusions». *Marine Ecology Progress Series* **91**, 265-268.
- [62] BOESCH D.F. et al ROSENBERG R. 1981. «Response to stress in marine benthic communities». In: Barrett G.W. et al Rosenberg R. (Edk.). *Stress effects on natural ecosystems*. Wiley-Interscience Publications, Chichester.
- [63] CLARKE K.R. et al WARWICK R.M. 1994. *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. Natural Environment Research Council, United Kingdom.
- [64] KENNEDY A.D. et al JACOBY C.A. 1999. «Biological indicators of marine environmental health: meiofauna - a neglected benthic component?». *Environmental Monitoring and Assessment* **54**, 47-68.
- [65] KLUIJVER M.J. DE. 1993. «Sublittoral hard-substratum communities off Orkney and St Abbs (Scotland)». *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* **73**, 733-754.

- [66] HISCOCK K. 1985a. «Preface». In: Hiscock K (Ed.). *Rocky shore survey and monitoring workshop. May 1st to 4th 1984*. British Petroleum International Ltd., London.
- [67] PAGOLA-CARTE S. eta SAIZ-SALINAS J.I. 2000. «A pilot study for monitoring the zoobenthic communities on the rocky shores of Abra de Bilbao (northern Spain)». *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* **80**, 395-406.
- [68] PAGOLA-CARTE S. eta SAIZ-SALINAS J.I. 2001a. «Changes in the sublittoral faunal biomass induced by the discharge of a polluted river along the adjacent rocky coast (N. Spain)». *Marine Ecology Progress Series* **212**, 13-27.
- [69] PAGOLA-CARTE S. eta SAIZ-SALINAS J.I. 2001b. «Cambios en el macrozoobentos de sustrato rocoso del Abra de Bilbao: 14 años de seguimiento de la recuperación biológica». *Boletín. Instituto Español de Oceanografía* **17**, 163-177.
- [70] HISCOCK K. 1985b. «Introduction to the workshop: historical perspective and aims». In: Hiscock K. (Ed.). *Rocky shore survey and monitoring workshop. May 1st to 4th 1984*. British Petroleum International Ltd., London.
- [71] GEORGE J.D. 1980. «Photography as a marine biological research tool». In: Price J.H., Irvine D.E.G. eta Farnham W.F. *The shore environment. Volume I: methods*. Academic Press, London.
- [72] HOLME N.A. 1984. «Photography and television». In: Holme N.A. eta McIntyre A.D. (Edk.). *Methods for the study of marine benthos*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- [73] GILI J.-M. 1982. «Comentarios sobre el empleo de métodos fotográficos en el estudio del bentos marino». In: Niell F.X. eta Ros J. (Edk.). *Actas del Primer Simposio Ibérico de Estudios del Bentos Marino (San Sebastián, abril 1979)*. Bilbo.
- [74] SMITH S.D.A. eta SIMPSON R.D. 1992. «Monitoring the shallow sublittoral using the fauna of kelp (*Ecklonia radiata*) holdfasts». *Marine Pollution Bulletin* **24**, 46-52.
- [75] HAWKINS S.J., HARTNOLL R.G. eta SOUTHWARD A.J. 1985. «On the stability and fluctuations in rocky shore communities in relation to pollution monitoring». In: Hiscock K. (Ed.). *Rocky shore survey and monitoring workshop. May 1st to 4th 1984*. British Petroleum International Ltd., London.
- [76] GLASBY T.M. 1998. «Estimating spatial variability in developing assemblages of epibiota on subtidal hard substrata». *Marine and Freshwater Research* **49**, 429-437.
- [77] BUTLER A.J. eta CONNOLLY R.M. 1999. «Assemblages of sessile marine invertebrates: still changing after all these years?». *Marine Ecology Progress Series* **182**, 109-118.
- [78] URKIAGA-ALBERDI J., PAGOLA-CARTE S. eta SAIZ-SALINAS J.I. 1999. «Reducing effort in the use of benthic bioindicators». *Acta Oecologica* **20**, 489-497.
- [79] PAGOLA-CARTE S., URKIAGA-ALBERDI J., BUSTAMANTE M. eta SAIZ-SALINAS J.I. 2002. «Concordance degrees in macrozoobenthic monitoring programmes using different sampling methods and taxonomic resolution levels». *Marine Pollution Bulletin* **44**, 63-70.