P2-DOKTOREGO TESI-PROIEKTUA (IKERTALENT 2026)

Gauzatzeko zentroa: AZTI Sukarrieta (Pasaia balora daiteke)
Zuzendaritza eta gainbegiratzea: Alice Manuzzi, Natalia Díaz-Arce, Guillem Chust.

Itsas baliabideen klima-aldaketaren aurreko erresilientzia aurreikusteko genomika eta modelizazio ekologikoa

Klima-aldaketak itsas ekosistemetan dituen ondorioak jada agerikoak dira. Arrain espezie askok beren banaketa geografikoa[1], ugaritasuna eta ezaugarri biologikoak aldatzen ari dira ozeanoen berotzeari erantzunez, eta horrek erronka handiak sortzen ditu arrantza-baliabideen kontserbaziorako eta kudeaketa jasangarrirako. Hala ere, eredu ekologikoek espezieen etorkizuneko banaketan gertatuko diren aldaketak proiektatzeko eta ingurumen-baldintza berrietara egokitzeko duten gaitasuna estimatzeko aukera ematen badute ere, gutxitan txertatzen dute populazioen gaitasun adaptatiboa, neurri handi batean haien aniztasun genetiko eta epigenetikoak zehazten duena.

Muga horrek ziurgabetasun handia eragiten du itsas espezieek klima-aldaketari emango dioten erantzunaren aurreikuspenetan. Populazioek desberdintasun nabarmenak izan ditzakete ingurumen-baldintza berrietara egokitzeko gaitasunean, eta horrek haien iraupena, etorkizuneko banaketa eta kalteberatasuna baldintzatzen ditu. Garrantzi handia izan arren, erantzun horien oinarrian dauden mekanismo genetiko eta epigenetikoak oraindik ez dira ondo ezagutzen, bereziki arrantzarako intereseko espezieetan.

Testuinguru honetan, informazio genomikoa, epigenomikoa eta ingurumenekoa integratzeko gai diren tresnak garatzea itsas ikerketaren egungo mugetako bat da[2], eta funtsezkoa da arrantza-kudeaketako estrategia moldagarriago eta erresilienteagoak garatzeko.

Tesi-proiektuaren helburua da tresna berriak garatzea, espezie marinek klima-aldaketari ematen dioten erantzunaren aurreikuspenetan informazio genomikoa eta epigenomikoa txertatzeko eta ezagutza hori arrantza-baliabideen ebaluazio, kontserbazio eta kudeaketa jasangarrira eramateko.

Zehazki, helburua da: 1) espezie eta populazio jakin batzuen klima-aldaketaren aurreko kalteberatasuna eta/edo egokitzapen ebolutiborako gaitasuna estimatzea, haien aklimatazio-gaitasuna kontuan hartuta; 2) ingurumen-baldintza berrietara egokitzea errazten duten mekanismo genetiko eta epigenetikoak identifikatzea; 3) prozesu horiek espezieen etorkizuneko banaketan eta arrisku klimatiko handieneko eremuen kokapenean izango duten eragina ebaluatzea; eta 4) informazio hori arrantza-baliabideen ebaluazioan eta kudeaketa jasangarrian txertatzeko tresnak garatzea.

Lau azterketa-kasu osagarri

Galdera horiei erantzuteko, tesi-proiektua informazio genomikoa, epigenomikoa eta ingurumenekoa etorkizuneko proiekzio klimatikoetan oinarritutako banaketa espazialeko eredu ekologikoekin konbinatzen dituen proiektu zabalago baten barruan kokatzen da. Ikerketak ikuspegi konparatiboa hartuko du Ipar-ekialdeko Atlantikoko garrantzi ekologiko eta arrantzale handiko bost arrain espezietan oinarrituta. Espezie horiek lau azterketa-kasutan antolatuko dira, eredu biologiko desberdinak, populazioen

konektibitate-maila desberdinak eta klima-aldaketaren aurreko balizko erantzun desberdinak ordezkatuz.

Tesia batez ere antxoan (*Engraulis encrasicolus*) eta legatz europarrean (*Merluccius merluccius*) oinarrituko da, eta hegaluze marradunean (*Katsuwonus pelamis*) eta zapoaren bi espezieetan (*Lophius piscatorius* eta *Lophius budegassa*) egingo diren analisi konparatiboekin osatuko da. Ikuspegi horrek aukera emango du bizi-estrategia desberdinek, sakabanatze-ereduek eta mekanismo adaptatiboek klima-aldaketaren etorkizuneko agertokien aurrean itsas populazioen erresilientzia nola baldintzatzen duten ebaluatzeko.

Antxoa izango da klima-aldaketaren aurreko egokitzapen genetiko eta epigenetikoko prozesuak ikertzeko eredu nagusia. Bere banaketa geografiko zabalak, ingurumen-gradiente ugari hartzen dituenak, tokian bertan egokitutako ekotipoen existentziak eta ozeanoen berotzearekin lotutako banaketan, fenologian eta gorputz-tamainan izandako aldaketen ebidentziek espezie aproposa bihurtzen dute itsas populazioen gaitasun adaptatiboa zehazten duten mekanismoak aztertzeko eta kalteberatasun klimatikoaren adierazleak garatzeko, *genomic offset* kontzeptuan oinarrituta eta informazio genetikoa zein epigenetikoa integratuz.

Bestalde, **legatz europarrak** eskala espazial eta denborazko handiko prozesu adaptatiboak aztertzeko aukera emango du, baliabide genomiko zabalak eskuragarri daudelako ere. Ipar-ekialdeko Atlantikoko eta Mediterraneoko arrantzentzat oso garrantzitsua den espezie honek bereizketa genomikoaren eredu konplexuak erakusten ditu, besteak beste, egitura kromosomiko bereziak, hala nola inbertsio kromosomikoak, tokiko egokitzapen-prozesuetan inplikatuta egon daitezkeenak. Proiektuak ebaluatuko du aldaera horiek nola eragiten duten populazioen erantzun adaptatiboan etorkizuneko ingurumen-agertokien aurrean.

Gainerako azterketa-kasuek eszenatoki biologiko konparagarriak eskainiko dituzte, garatutako tresnak testuinguru ekologiko desberdinetan baliozkotzeko aukera emanez. **Hegaluze marradunak**, populazio-konektibitate handia eta migrazio-gaitasun handia dituenak, eskala handiko sakabanatzeak klima-aldaketara egokitzeko gaitasunean duen eragina aztertzeko aukera emango du. Bestalde, **zapo zuriak** eta **zapo beltzak** espezieen arteko hibridazioak aniztasun adaptatiboa sortzeko mekanismo posible gisa duen eginkizuna aztertzeko eredua osatuko dute. Ipar-ekialdeko Atlantikoan hibridazio-maila handiak egoteak aukera paregabea eskaintzen du espezieen arteko truke genetikoak populazioen erresilientzian ingurumen-aldaketen aurrean nola lagun dezakeen ikertzeko.

Proiektuak estrategia multidiziplinarra aplikatuko du, genomika, epigenomika, bioinformatika eta modelizazio ekologikoko tresnak uztartuz, klima-aldaketaren aurrean itsas espezie desberdinen gaitasun adaptatiboa aztertzeko. Horretarako, azken belaunaldiko sekuentziazio-teknologien bidez lortutako datuak erabiliko dira, egungo ingurumen-informazioarekin eta klima-eredu globaletatik eratorritako proiekzioekin batera. Datu horietatik abiatuta, ingurumen-egokitzapenarekin lotutako aldaera genetikoak eta marka epigenetikoak identifikatuko dira, eboluzio-prozesu garrantzitsuak aztertuko dira, eta espezieen eta populazioen kalteberatasuna ebaluatuko da agertoki klimatiko desberdinen aurrean. Ondoren, informazio hori espezieen banaketa-ereduekin (*Species Distribution Models*, SDMak) integratuko da, etorkizuneko ingurumen-

egokitasuna zein populazioen gaitasun adaptatiboa kontuan hartzen dituzten aurreikuspenak sortzeko. Ikuspegi horrek aukera emango du itsas baliabideen etorkizuneko banaketan, ugaritasunean eta erresilientzian izango diren aldaketen estimazioak hobetzeko.

Proiektuaren elementu bereziki berritzailea izango da informazio genomiko eta epigenomiko hori arrantza-ebaluazio eta kudeaketa prozesuetan txertatzeko mekanismoak ebaluatzea. Horretarako, ikasleak baliabideen ebaluazioan eta arrantza-kudeaketan adituak diren espezialistekin lankidetza estuan jardungo du, kalteberatasun klimatikoaren, gaitasun adaptatiboaren eta populazioen erresilientziaren adierazleak ebaluazio-esparruetan eta erabakiak hartzeko laguntza-tresnetan nola integra daitezkeen aztertuz, klima-aldaketaren aurrean espezieen gaitasun ebolutiboa berariaz txertatzen duten kudeaketa-ikuspegiak garatzeko.

Tesi-proiektua AZTIn garatuko da, arrantza-genomikan, modelizazio ekologikoan, klima-aldaketan eta itsas baliabideen ebaluazioan esperientzia integratzen duen ingurune multidiziplinarrean. Doktoregaiak ikertzaile espezializatuen laguntza izango du, bai eta lankidetza nazional eta nazioartekoen sare sendo baten babesa ere, horien artean Osloko Unibertsitatearen parte-hartze aktiboa bazkide zientifiko gisa.

Espero diren emaitzak eta inpaktua

Tesi-proiektuak honako hauek sortuko ditu: 1) interes komertzialeko arrainen gaitasun adaptatiboari buruzko ezagutza, klima-egokitzapenarekin lotutako markatzaile genetikoak, kalteberatasun handieneko banaketa-eremuen mapak eta banaketaren aurreikuspen zehatzagoak barne; eta 2) populazioen gaitasun adaptatiboa monitorizatzeko tresna genetikoak eta egokitzapen genetikoa banaketa-ereduetan integratzeko tresna informatikoak. Sortutako ezagutza eta tresnak klima-aldaketarekiko erresilientea den arrantza-kudeaketa sustatzeko erabiliko dira, etorkizuneko arriskuak aurreikusteko eta klima-aldaketaren testuinguruan itsas baliabideen kudeaketa erresilienteagoa babesteko. Emaitzak arrantza-ebaluazioko erakundeei, administrazioei eta itsas baliabideen kudeaketan inplikatutako sektoreei transferituko zaizkie.

1.Chust, G., Villarino, E., McLean, M. *et al.* Cross-basin and cross-taxa patterns of marine community tropicalization and deborealization in warming European seas. *Nat Commun* 15, 2126 (2024).

2.Fitzpatrick, M.C., Keller, S.R. Ecological genomics meets community-level modelling of biodiversity: mapping the genomic landscape of current and future environmental adaptation. *Ecol Lett* 18, 1–16 (2015).