

## Aplikazio biomimetikoak itsas energien atzemate-gailuetan

(Biomimetic applications in marine energy harnessing devices)

Urko Izquierdo<sup>1\*</sup>, Asier Vázquez<sup>1</sup>, Jesús María Blanco<sup>1</sup>, Iñigo Bidaguren<sup>1</sup>, Gustavo Adolfo Esteban<sup>1</sup>, Alberto Peña<sup>1</sup>, Iñigo Albaina<sup>1</sup>, Manuel Soto<sup>2</sup>, Guzmán Díez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Energy Engineering, Faculty of Engineering in Bilbao (UPV/EHU)

<sup>2</sup> Department of Zoology and Animal Cell Biology, Faculty of Science and Technology, University of the Basque Country (UPV/EHU),

Research Centre for Experimental Marine Biology and Biotechnology (PIE-UPV/EHU)

<sup>3</sup> AZTI, Marine Research, Basque Research and Technology Alliance (BRTA)

**LABURPENA:** Natura inspirazio-iturri gisa aztertzeak itsasotik datorren energiaz baliatzeko makinak diseinatzea eragin du. Dokumentu honek biomimesian oinarrituriko itsas gailuak aztertzen ditu, haien portaeraren ondorioz energia bereganatzea errazten duten horietan oinarrituz [1]. Azkenik, marrazoen larruazala jariakinaren muga-geruza apurtzea ahalbidetzen duten espikula txikiz osatuta dagoenez, haren mugimenduarekiko erresistentzia murriztuz [2], eta fenomeno horretan oinarrituz, olatuak sortzeko erabiltzen diren olatu-kanaletan (*waveflumes*) energia xahutzeko sistemetan aztertzen den aplikazioa zehaztuko da.

**HITZ GAKOAK:** muga-geruza, itsas energiak, espikula dermikoak, olatu-kanala.

**ABSTRACT:** *The study of nature as a source of inspiration has resulted in the design of different energy harnessing devices from the sea. This article brings together the marine devices based on biomimicry, focusing on those whose behavior favors the energy capture [1]. Finally, as the skin of sharks is formed by tiny spicules that allow breaking the boundary layer of the fluid and, thus, reducing the resistance to advance of the shark [2], the application under study in wave flume energy absorption systems will be detailed, which are laboratory devices that allow wave generation phenomena to be reproduced at reduced scale.*

**KEYWORDS:** *boundary layer, marine energy, dermal spicules, wave flume.*

\* **Harremanetan jartzeko / Corresponding author:** Urko Izquierdo. Ingeniaritza Energetikoa Saila, Bilboko Ingeniaritza Eskola, Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU), Torres Quevedo Enparantza, 1 (48013 - Bilbo, Bizkaia, Euskal Herria). – [urko.izquierdo@ehu.eus](mailto:urko.izquierdo@ehu.eus) – <https://orcid.org/0000-0003-2020-4310>

**Nola aipatu / How to cite:** Izquierdo, Urko; Vázquez, Asier; Blanco, Jesús María; Bidaguren, Iñigo; Esteban, Gustavo Adolfo; Peña, Alberto; Albaina, Iñigo; Soto, Manuel; Díez, Guzmán (2022). «Aplikazio biomimetikoak itsas energien atzemate-gailuetan». *Ekaia*, 42, 2022, 349-364. (<https://doi.org/10.1387/ekaia.22901>).

Jasotze-data: 2021, ekainak 8; Onartze-data: 2021, irailak 1.

ISSN 0214-9001 - eISSN 2444-3255 / © 2022 UPV/EHU



Lan hau Creative Commons Aitortu-EzKometziala-LanEratorririkGabe 4.0 Nazioartekoa lizentzia baten mende dago

## 1. SARRERA

Itsas teknologien arloan biomimesiaren erabilerak hasiera-hasieratik lagundu du hidrodinamikaren eta hidraulikaren ezagutza garatzen. XVI. mendean, Errenazimenduaren garaitik, itsas animalien forma emulatuz gorputz fuselatu edo aerodinamikoaren bidez mugimenduaren erresistentzia murrizteari buruzko lehen azterlanak identifikatzen dira (Leonardo da Vincik eginak) [3]. Itsas teknologiaren berrikuntzaren eta itsas animalien munduaren portaeraren arteko lotura horrek jarraitutasuna izan du ordutik hainbat alorretan, hala nola sentso-re-sistemetan (eko-kokapena eta elektro-harrera), presioa eta flotagarritasuna kontrolatzeko mekanismoetan, energia-kontsumoa murrizteko estrategietan (diseinu fusiformea), egituren diseinuan edo egonkortasun- eta maniobra-mekanismoetan. Azkenotan, arreta berezia jarri zaio propulzioaren arloari. Eremu horretan, bizi diren ingurunera jada egokituta dauden itsas izakiek gauzatutako mekanismo hidrodinamikoak erreproduzituko dituzten sistema eraginkorrak lortu nahi dira [4].

Itsas egituren eta jariakinaren arteko elkarrekintzari eragiten dioten fenomeno fisikoen artean, muga-geruza deritzonaren eraketak eta portaerak azaltzen du itsas animalia batzuek lortzen duten abiadura azkarra [5]. Portaera hori itsas espezie ugarian azal ezkatadunaren jokaera emulatzen duten espikula edo xafla mekanikoen eragite boluntarioaren bitartez eralda daiteke [2], horrela desiratutako helburua lortzeko (adibidez, mugikortasuna, azelerazioa, energia-kontsumoaren murrizketa, eta abar). Muga-geruza azalera solidotik gertu dagoen jariakinaren eskualde berezia da, non esfortzu lirdingatsu handiak eta abiadura-gradiente altuak agerian jartzen diren. Han, muga-geruzan, eskala mikroskopikoan, itsas espezieen azaleko ezkatzen edo espikulen eta jariakinaren arteko elkarreraginak indar makroskopikoak sortzea eragiten du. Indar horiek mugimenduarekiko erresistentzia (arrastea edo *drag*: gorputzaren desplazamendu-norabidean) eta sostengua (*lift*: desplazamenduarekiko norabide perpendikularrean) dira. Muga-geruzaren portaera eta gainazal solidoaren morfologiaren (ezkatzen) arabera kanpoko fluxua ikasteko ohiko aukeren artean, alde batetik, Jariakinen Mekanika Konputazionala (CFD ingelesezko siglak) dago, non jariakinen dinamikaren oinarritzko garraioaren ekuazio diferentzialak zenbakizko eran ebazten diren eremu konputazional batean, konputagailu ahaltsuak erabiliz. Emaizta gisa eremu espazialaren nodo diskretu bakoitzean aldagai fisiko karakteristikoak (adib. abiadura, presioa, biskositate-esfortzu tangentiala) lortzen dira. Bestalde, laborategiko esperimentazioa erabiltzen da, non normalean eskala txikian eraikitako gailuen modeloak edo maketak entseatzen diren, eskala errealeko fenomenoaren adierazgarri den ingurune batean, fenomenoaren talde adimentsional esanguratsuak alderatuz (eskuarki Reynolds, Froude eta Keulegan-Carpenterren zenbakiak itsas aplikazioetan).

Kanpo-fluxuaren eremu barruko muga-geruzan gorputz solidoaren eta jariakinaren arteko elkarreaginaren emaitzak aurretiaz aipaturiko arraste-eta euste-indar makroskopikoak sortzen ditu. Arraste-indarra,  $F_d$  (*drag*), gorputzaren mugimenduaren norabidearekin lerrokatutako indarra da, eta adierazpen honen bitartez ebalua daiteke:

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho A U_\infty^2 \quad (1)$$

non  $\rho$  jariakinaren dentsitatea,  $A$  gorputzaren azalera bereizgarri bat (gorputz fusiformeentzat bustitako eremua izan daiteke, edo gorputz kamutsetan mugimenduaren norabidearekiko perpendikularra den zeharkako azalera maximoa),  $U_\infty$  gorputz solidoak jariakin ez-asalduarekiko duen desplazamendu-abiadura eta  $C_d$  arraste-koefiziente adimentsionala diren.

Era berean, euste-indarra,  $F_L$  (*lift*), gorputzaren mugimenduaren norabidearekiko indar perpendikularra da, eta honako adierazpen honen bidez ebalua daiteke:

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho A U_\infty^2 \quad (2)$$

zeinak arraste indarraren parametro berdinak dituen,  $C_L$  euste-koefiziente adimentsionala izan ezik (arraste-koefizientearen ordezkoa).

$C_L$  eta  $C_d$  euste- eta arraste-koefizienteek gorputzaren geometriarekiko, azaleko morfologiarekiko (zimurtasuna) eta muga-geruzaren portaerarekiko (geruza hori laminarra edo zurrumbilotsua bada eta jaulkitzeko aukera badu) zuzeneko menpekotasuna dute; bai eta indar biskatsuek inertzialekiko duten garrantzi erlatiboaren maila ere, Reynolds-en talde adimentsionalaren bidez adierazten dena:

$$\Re = \frac{U_\infty L}{\nu}, \quad (3)$$

non  $L$  gorputz solidoaren luzera esanguratsua eta  $\nu$  jariakinaren biskositate zinematikoa diren.

Bestalde, itsas ornogabeek itsasontzien kroskoen edota eskala handiko egitura finkoen gainazal solidoetan duten akrezio edo ainguraketa batek (*biofouling*) gehiegizko zimurtasuna eragin dezake, eta horrek marruskadura biskatsua bidezko arraste-indarra handitu dezake muga-geruza zurrumbilotsuaren baitan. Ildo beretik, zimurtasun artifiziala gehitzeak olatuek duten energia xahutzen lagun dezake, hori nahi den azken efektua denean.

Horrez gain, turbomakinen alabeetan zurrumbilo-sorgailuen (*vortex generators*) borondatezko txertaketa ere zabalduta dago, muga-geruza sendo-

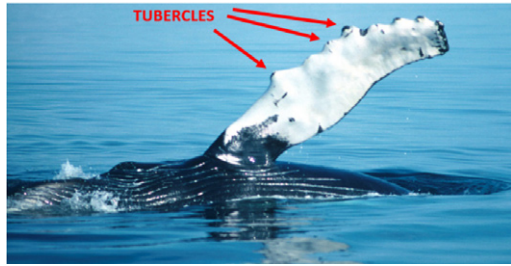
tzeko, higidura kantitatea handituz eta jaulkipena atzeratuz. Aplikazio horrek makineriaren errendimendua hobetzea lortzen du [6, 7].

Horrek guztiak egiten du mugimenduan dagoen jariakin baten eta egitura baten arteko elkarrekintzaren portaera dinamikoa aldatzea, hala nola itsasoko olatueta edo itsas korranteetan. Beraz, interes handikoa da itsas energiak atzemateko aplikazioen diseinu-parametroen balioetan biomimesiak duen eragina ahalik eta zehatzen ezagutzea.

## **2. BIOMIMESIAREN APLIKAZIOAK ITSAS ENERGIAK ATZEMATEKO GAILUETAN**

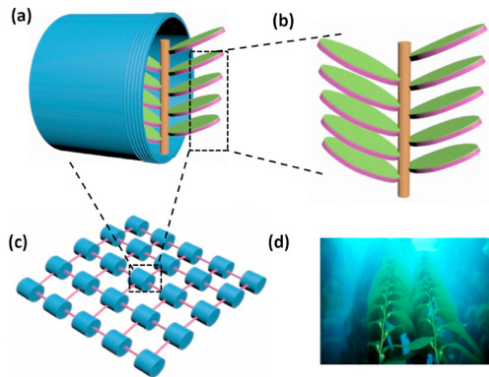
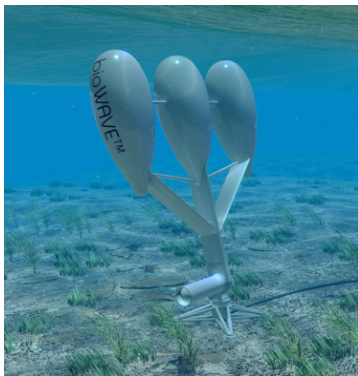
Garapen biomimetikoak aplikatu diren gailuak sailkatzeko orduan, bi multzo azter daitezke: ezaugarri jakin bat hobetzeko asmoz (adibidez, *drag*aren murrizketa) eginak edo gailua bera (geometria edo funtzionamendua) naturako alderdiren bat imitatzean oinarritzen direnak. Azken sailkapen horretan, garatutako funtzioa, portaera, forma eta mugimendua imitatzen dituzten aplikazioak bereiz daitezke [8], ikerlariek sailkatu legez.

Propietate edo ezaugarri fluidodinamiko bat hobetu nahi denean, helburua gailu horren errendimendua handitzea da, haren funtzionamendua-  
ren funtsezko parametroetako baten gainean jardunez. Jarduera ohikoenak arraste-indarrek energia erauzteko paper garrantzitsua betetzen dutenak dira; eta, beraz, hori murriztuz gero, delako gailuaren errendimendua handitu liteke. Adibide gisa, gainazal zimurtsuetan, hala nola aurretiaz aipaturiko marrazoen larruan, oinarritutako aplikazioak aipa litezke, zeinetan desplazamendua errazten den, bai eta hura sintetizatzeko egindako garapenak ere [9-14]. Hala ere, badira beste aplikazio mota batzuk; balea konkordunen bular-hegalen forman oinarritutakoak, besteak beste. Baleek eta gaine-  
rako zetazeo gehienek aurreko ertza laua duten hegala badituzte ere, balea konkordunaren kasuan ertzek tuberkulu izeneko zenbait protuberantzia dituzte. Protuberantzia horiek ura bideratu eta zenbait zurrunbilotan banatzen dute. «Tuberkulu-efektu» horrek bulkada handiagoa ematen dio baleari, eta horrek hegatsak angelu nabarmenagoetan biratzeko aukera ematen dio, eta urarekiko erresistentzia murrizten du, zeina onura garrantzitsua den, hegatsak luzeak baitira (baileen gorputzaren luzeraren ia heren bat). Ezaugarri hori mareen korrantetik (*tidal turbines*) energia lortzen duten turbinetan erabili da, marea-energia aplikazioetan, muga-geruzaren jaulkipena atzeratu daitekeela frogatuz, baita «*drag*»/«*lift*» ratioak handitzea ere korrontearen energia hobeto aprobetxatzeko [15, 16], *1. irudian* ikus daitekeen bezala.



**1. irudia.** Ezkerra: Tidal turbina baten errotoareen irudia [15], eta eskuina: balea konkordun baten hegatsa [17].

2. irudiaren ezkerrean bioWAVE izen komertziala duen aplikazioa ikus daiteke. Olatuen energia bihurtzeko sistema (*wave energy converter*, WEC) bat da, itsas algen mugimenduan eta birorientazioan oinarrituta dagoena. Australiako enpresa batek diseinatu eta garatu zuen, ez bakarrik aurrera eta atzera mugitzeko itsas algak bezala, baizik eta baita itsas hondoan egon ahal izateko ere, hondoarekiko paraleloan, ekaitz-baldintzetan.

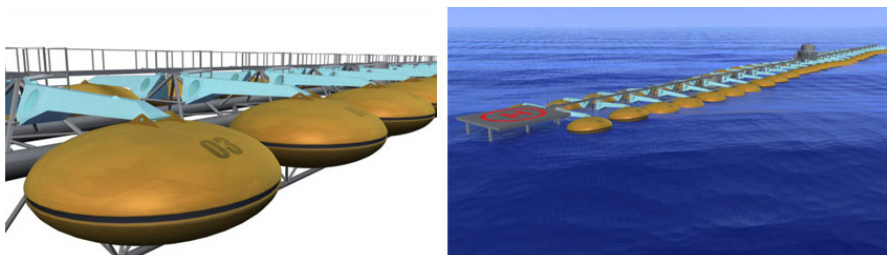


**2. irudia.** Ezkerra: bioWAVE izeneko WEC sistema [18]. Eskuina: (a) nanosorgailu triboelektriko unitate baten xehetasuna (c) sistema baten sarea, eta (b-d) diseinu horretan oinarrituta dagoen alga bat [19].

Algen imitazioa beste ikertzaile batzuen inspirazio-iturria ere izan da nanosorgailu triboelektrikoa (TENG) erabiliz energia mekanikoa energia elektriko bihurtzeko nanosorgailu akoplatuaren eta indukzio elektrostati-koaren bidez [19]. Aplikazio hori 2. irudiaren eskuineko irudian erakusten da, eta arinak, txikiak eta inplementatzeko errazak diren olatuen energia bihurtzeko estrategiak diseinatzeko aukera du oinarri, energia elektriko

modu eraginkorrean sortzeko maiztasun txikiko uraren energiatic abiatuta, ohiko sorgailu elektromagnetikoen orde.

Ehunzangoak *Chilopoda* klaseko artropodoak dira. Gorputz-segmentu gehienek (lehenengo eta azken bi segmentuak izan ezik) eusten dieten hanka ugari dituzte, eta hanka pare bakoitza aurrekoa baino apur bat luzeagoa delako bereizten dira; horrela, azkar mugitzean, hankek elkarrekin talka egitea ekiditen da. Ehunzangoak Centipod WEC izeneko WEC aplikazioaren (ikus 3. irudia) inspirazioa izan ziren; nahiz eta kasu horretan gorputz-adar bakoitzaren luzera berdina den. Sistema hori, nagusiki, bizkarrezur batez, buiaz, energia erauzteko osagaiz (*power take-off*, PTO) eta ainguratze-lerroz osatuta dago. Elektrizitatea sorgailuen laguntzarekin lortzen da, olatuen eraginpean dauden buien mugimendu bertikalak bultzatuta [20].



**3. irudia.** Centipod sistema [21]. Ezkerra: buien xehetasuna. Eskuina: sistema osoaren irudi orokorra.

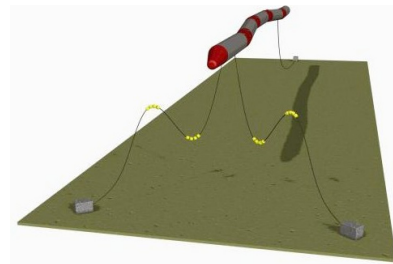
*Aquamarine Power Ltd* enpresak Oyster izeneko WEC sistema diseinatu eta probatu zuen, 4. irudia, tarteko uretan erabiltzeko (10 eta 15 metro bitarteko sakoneran eta kostaldetik 500 metrora) eta olatuen energia kostaldetik gertu hartzeko. Sistema hori ostrek irekitzen eta ixten direnean duten portaeran oinarritzen da, eta itsas hondotan instalatutako dimentsio handiko plaka edo hegal baten antzeko egitura bat du, olatuen elkarrekintzaren ondorioz sortzen diren indarrekin kulunkatzen dena.



**4. irudia.** WEC Oyster 800. Ekipamenduaren xehetasuna (ezkerra) eta itsasoan instalazioaren irudia [22].



Pelamis izeneko WECa elektrizitatea sortu eta sare elektrikora injeztatu zuen lehen olatu-energiako makina izan zen. Pelamisa *Ocean Power Devlery Ltd*-ek diseinatu zuen, kobra familiaren azpifamilia diren itsas sugeen forma imitatuz (ikusi 5. irudia). Pelamisa *offshore* flotatzaile erdi murgildua da, eskuarki 4 edo 5 sekzio tubularrez osatua, bi norabidetan tolestea ahalbidetzen duten artikulazioen bidez elkartuak (olatuekiko perpendikularki eta tangentialki) (Pelamis, 2018). Itsas hondoa ainguratuta dago, eta olatuen hedapen-norabidean kokatzen da. Olatuek horren sekzioak zeharkatzen dituzten heinean, tolestu egiten dira, PTO hidraulikoa aktibatuz.



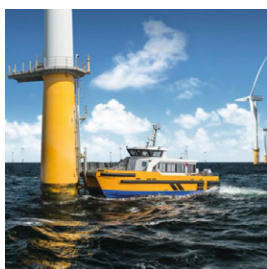
**5. irudia.** Ezkerra: Pelamis sistema. Prototipoaren irudia itsas azalean. Eskuina: sistema osoaren xehetasuna, ainguratze-lerroak barne [23].

### 3. MARRAZOAREN LARRUARI APLIKATUTAKO BIOMIMETIKAREN APLIKAZIO ESPEZIFIKOAK

Marrazoen azalaren portaeran oinarritutako aplikazio ugari egon dira. Itsas energiekin lotura dutenen artean, garrantzitsuenak bioinkrustazioa (*biofouling*, itsas ornogabeen akrezioa edo inguraketa) murriztera bideratutakoak eta arraste-indarrak txikitzearekin erlazionaturikoak dira.

*Biofouling* itsas ingurunean murgilduta dagoen edozein egiturari eragin diezaiokeen fenomeno da. Prozesu konplexua da, zeina *biofilm* (mikrobio edo mikroalga) bat eratuta hasten den, milaka itsas organismo, hala nola algak, moluskuak eta beste espezie batzuk, kokatu aurretik. Fenomeno hori jada ezaguna zen, maila ekologikoan eta ekonomikoan itsasontzietan, buietan edo, oro har, kostaldeko eta akuikulturako industria-inguruneetan eragiten dituen ondorioengatik. Adibidez, itsasontzietan, eragin horrek marruskadurari dagokion erresistentzia-indarra % 60raino handitzea ekar dezake, eta horrek erregai-kontsumoan eragina izan dezake [24]. Gaur egun, gero eta egitura eta gailu gehiago instalatzen dira itsasoan, itsas ingurune horiek eskaintzen dituzten energia-iturri berriztagarrietatik datorren energia lor-

tzeko. *Biofoulinga* garrantzi handiko erronka da energia lortzeko diseinatutako elementuak sostengatzen edo jasaten dituzten egituretan, hala nola haize-turbinetan (flotatzaileak edo zimendatuak), ur-zutabe oszilatzailearen printzipioan oinarrituriko gailu flotatzaileetan (*oscillating water column*, OWC) edo horretarako diseinaturiko beste edozein gailu motatan [25]. Haize-energia *offshore*aren egiturak, bai zimendatuak bai flotatzaileak, itsas ingurunearekiko interakzioaren menpe daude, hala nola olatuen eta itsasoko osagai biotikoen menpe, zeinek *biofoulinga* agertzea ahalbidetzen baitute. Fenomeno hori egitura flotatzaileen kroskoan garatzen denean, hala nola 6. irudian ikusgai daudenetan, karenaren geometria-aldaketa eraginkorra gerta daiteke eta aurrera egiteko oposizio-indarra areagotu ere bai, azalera solidoaren zimurtasunaren gehikuntzaren ondorioz, jariakinarekin duen elkarrekintzan [26].



**6. irudia.** Ezkerra: buia batean behatutako itsas hazkundera [27]; erdia: monopilote batean, eta eskuina: *jacket* motako egitura batean [28].

Halaber, *biofouling* fenomenoak kalte egiten dio murgildutako egituren kalitate estrukturalari; Heaf-ek [29] frogatu du azterketa parametrikoei karga areagotu (egituren pisua handitzea) eta plataforma zimendatuen bitartez nekearen ondorioz murrizten direla denborarekin itsas hazkunderaren lodiera handitzearen ondorioz. Azken batean, itsas hazkunderak hainbat modutan eragin diezaieke itsas egiturei: egiturak estaliz, ikuskapenak zailduz eta kostuak igoz; korrosioa eta korrosioarekiko nekea handituz; karga hidrodinamikoak areagotuz, alde batetik, egiturazko osagaien dimentsioak handituz hazkunde-estratu gehigarrien ondorioz, eta, bestetik, azalaren zimurtasuna areagotuz. Horrek areagotu egiten du itsas energiako proiektuen finantza-arriskua; izan ere, *biofoulingak* ere eragina izan dezake ainguratzeko-sistemen iraupenean [30, 31].

Efektu hori arintzeko, *biofilmen* garapenean oinarritutako hainbat aplikazio daude, itsas organismoen ezaugarriak erreferentziazat hartuta diseinatzeko direnak, hala nola belakiak edo algak. Kroskoak halakoekin blaitzen dira, itsas hazkundera saihesteko helburuarekin [24]. Antzeko aplikazioak ere badaude, marrazoen larruan oinarritutako gainazal gisa garatuak; adibi-

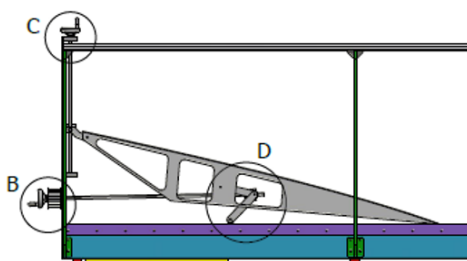


dez, Mako marrazoaren larruazalaren gainazalaren kasua [9, 13]. Marrazo horien ezkatek, dentikulu dermiko edo ezkata plakoideo deritzenek, barne-barrunbe bat duen hortz baten antzeko egitura dute, non mamia hodi txikiz irriगतua eta esmaltez estalitako dentinaz inguratua dagoen. Hezur-plaka basal bat dute, larruazalaren barneko geruzetara oso finkatuta dagoena eta, atzealdean, arantza bat edo gehiago dituen korroa batez osatutako kanpoko zati bat duena [32]. Ezkata mota horien ezaugarriak ekorketako mikroskopia elektronikoko (SEM, *scanning electron microscopy*) baten bidez aztertuz, eskapoloan duten kokapenaren arabera desberdintasunak baitituzte. Zehazki, marrazo honen azala inspirazio-iturri gisa erabili izan da, hura erreproduzitu ahal izateko eta aurrerapenarekiko erresistentzia murriztearekin lotutako aplikazioetan erabili ahal izateko [2, 14, 33].

### **3.1. Aztergai den aplikazio berria**

Egileek bibliografian identifikatu ez duten aplikazioetako bat larru mota hori imitatzean oinarritzen da, mugimenduaren erresistentzia areagotzeko. Hau da, orain arte egindako ikerketak zurrumbiloa murriztean eta horrekin aurrera egiteko erresistentzian oinarritzen badira ere, ezkata horiek jariakin baten zirkulazioaren kontrako noranzkoan kokatuz gero jariakinean aurrera egiteko erresistentzia areagotu egingo litzateke, horrela energia gehiago xahutuz. Aplikazio zuzenena, eta egileek etorkizuneko saiakuntzetan aztertuko dutena, olatu esperimentalen tankeek dituzten olatuak xahutzeko sistemen gainazaletan izango litzateke. Olatu tankeen, *wave flumes*, egitura, eskuarki, hiru eskualdetan banatzen da: olatuak sortzekoa, hedatzekoa eta desagertzekoa, intereseko eremua desagertze-eskualdea izanik.

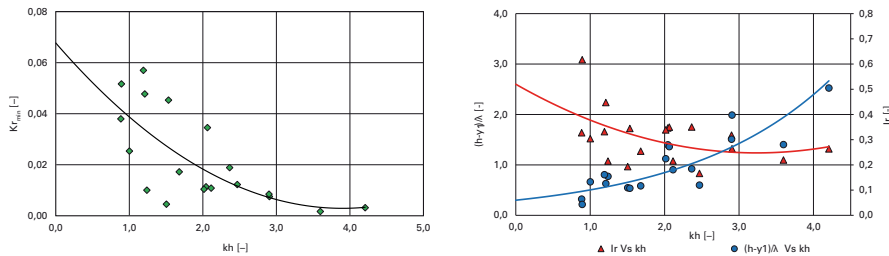
Bi xurgatze-sistema mota daude: aktiboak eta pasiboak. Sistema aktiboetan ez litzateke aurretiaz garatutako kontzeptua aplikatuko, baina olatu-tanke gehienek elementu pasiboak dituzte, diseinuan eta muntaketan sinpleak eta kostuak txikiak baitira. Olatuen desagertze-sistema gisa erabil daitezkeen elementu pasibo ugari dauden arren [34], egiaztatu da profil parabolikoak direla eraginkorrenak sortutako olatuen energia xahutzeko. UPV/EHUko Ingeniaritza Energetikoa Saileko olatu-tankean (7. irudiko goiko argazkia) instalatutako desagertze-sistema sistema pasiboa da, eta 1,5 m-ko luzera eta 20 cm-ko altuera ditu (7. irudiko beheko argazkiak).



**7. irudia.** Goian: UPV/EHUKo Ingeniaritza Energetikoa Saileko olatu-tankea. Pistoi motako sorgailua eta desagertze pasiboko sistema parabolikoa. Dimentsioak:  $12.5 \times 0.6 \times 0.7$  m (luzera  $\times$  zabalera  $\times$  altuera). Behe-ekerra: desagertze-sistemaren xehetasuna. Behe-eskuina: desagertze-sistema altuerari eta inklinazioari dagokienez kokatzea ahalbidetzen duten diseinu-xehetasunak.

Saiakuntzak egin dira honako hauek ebaluatzeko: islatze-koefizientea,  $K_r$ , sakonera desberdinetan ( $h$  [m], 0,3, 0,4, eta 0,5, hurrenez hurren), periodoak ( $0,636 < T$  [s]  $< 1,526$ ), olatu-altuerak ( $0,010 < H$  [m]  $< 0,064$ ), desagertze-sistemaren angeluak ( $3 < \alpha$  [°]  $< 17$ ) eta hondartzaren muturren posizioak ( $y_1, y_2$ ), Ayri-ren teoria linealean [35] definituriko olatu erregulartarako eta linealak ez diren 2. ordenako Stokes olatueterako [36]. Islatze-koefizienteak desagertze-sisteman xahutu ez den olatuaren frakzioa adierazten du; eta, beraz, olatu intzidentearen kontrako noranzkoan islatzen dena (G.A. Esteban *et al.*, 2020). Fenomeno hori ez da desiragarria, nabarmen eragiten baitio olatu intzidenteari, eta olatuen tankean zehar olatuen

ezaugarriak aldatzea eragiten du. Egin berri den azterketaren emaitzarik esanguratsuenak 8. irudian erakusten dira; bertan, olatuen parametro bereizgarrien menpekotasuna adierazten da, kalkulaturako islatze-koefizientearen arabera.



**8. irudia.** Ezkerra: islatze-koefiziente minimoaren bilakaera dispertsio-parametroaren arabera,  $kh$ . Eskuina: xahutze-sistemaren interakzioa eta Iribarren zenbakiaren aldakuntza dispertsio-parametroaren arabera, islatze-koefiziente minimotarako.

8. iruditik honako ondorio hau atera daiteke: xahutze-sistemak olatu intzidenteen energia ia osoa desagertzeko aukera ematen du, baina Iribarren zenbakiak gora egin ahala, islatze-koefizientearen balioak ere gora egiten du. Beraz, aukera multzo handi bat irekitzen da azterlan horri berari desagertze-sistemaren azalerari atxiki dakizkioken elementuekin ekiteko orduan, hala nola marrazo muturluzearen (*Isurus oxyrinchus*) larruarekin, islatze-koefizientea nabarmen murriztea ahalbidetuko duen zimurtasuna lortzeko helburuarekin.

#### 4. HAUSNARKETAK ETA ETORKIZUNERAKO AUKERAK

Itsas energiak atzemateko gailuetan egin diren aplikazio biomimetikoen bateratze honek biomimesiaren balioa goraipatu nahi du hidrodinamikaren eta hidraulikaren eremuan. Horretarako, muga-geruzaren eraketaren fenomeno fisikoa zehaztu da, hori izanik *drag* eta *lift* indarrak sortzen diren eremua. Energia atzemateko gailuei dagokienez, marea turbinen, bioWAVE sistemaren, nanosorgailu triboelektriko unitate baten, Centipod sistemaren, Oysterren eta Pelamisen inguruko aplikazio biomimetikoak deskribatu dira. Jarraian, marrazo-larruaren imitazioan oinarrituriko biomimetikaren berariazko aplikazioak zehaztu dira, bai eta mota horretako aplikazioak itsas gailuetan agertzen diren arazoak arintzen edo ebazten lagundu ditzaketenak (*biofouling*). Azkenik, olatu-tankeen desagertze-sistemetan garatu beharreko aplikazio berri bat deskribatu da, marrazoaren larruaren imitazioan oinarritua.

## 5. ESKER ONAK

Egileek Eusko Jaurlaritzari eskertu nahi diote IT1514-22 Ikerketa Taldea sustatzea. Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitateari ere eskerrak eman nahi dizkiote GIU19/029 Ikerketa Taldea sustatzeagatik. Azkenik, eskerrik asko Joint Research Laboratory on Offshore Renewable Energy-ri (JRL-ORE).

## BIBLIOGRAFIA

- [1] AHAMED, R., MCKEE, K. and HOWARD, I. (2020) 'Advancements of wave energy converters based on power take off (PTO) systems : A review', *Ocean Engineering* 204: 107248.
- [2] AIRY, G. B. (1845) *Tides and waves*. Vol. 5. Edited by William Clowes and Sons. London: Encyclopaedia Metropolitana.
- [3] BLACKLEDGE, J. *et al.* (2013) 'Estimation of Wave Energy from Wind Velocity', *Engineering Letters* 4: 158-170.
- [4] BUCK, B. H. and LANGAN, R. (2017) *Aquaculture Perspective of Multi-Use Sites in the Open Ocean*. published by Springer Nature, Switzerland.
- [5] CAMPOS, R. M. *et al.* (2021) 'Impact of heavy biofouling on a nearshore heave-pitch-roll wave buoy performance', *Applied Ocean Research* 107: 102500.
- [6] CHIEN, H. *et al.* (2020) 'Colloids and Surfaces B: Biointerfaces Inhibition of bio film formation by rough shark skin-patterned surfaces', *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 186: 110738.
- [7] CUNMING YU, MENGFEI LIU, CHUNHUI ZHANG *et al.* (2020) 'Bio-inspired drag reduction: From nature surfaces', *Giant* 2: 100017.
- [8] DEHLSSEN ASSOCIATES, L. (2016) *Advanced Controls for the Multi-pod Centipod WEC device*. URL (Consulted January 2021): <https://www.osti.gov/servlets/purl/1237967/>. [<https://litoraldegranada.ugr.es/el-litoral/el-litoral-surgido/fauna/cordados-2/vertebrados/peces/>].
- [9] DÍEZ, G., SOTO, M. and BLANCO, J. M. (2015) 'Biological characterization of the skin of shortfin mako shark *Isurus oxyrinchus* and preliminary study of the hydrodynamic behaviour through computational fluid', *Journal of Fish Biology*: 1-15.
- [10] ERRASTI, I. *et al.* (2019) 'Source Term Modelling of Vane-Type Vortex', *Energies* 12: 605.
- [11] FERNANDEZ-WAID, P. *et al.* (2019) 'Morphological Characterization and Hydrodynamic Behavior of Shortfin Mako Shark (*Isurus oxyrinchus*) Dorsal Fin Denticles', *Journal of Bionic Engineering* 16: 730-741.
- [12] FISH, F. E. (2011) 'Biomimetics and Marine Technology : An Introduction', *Marine Technology Society Journal* 45: 1-13.
- [13] FU, Y. F., YUAN, C. Q. and BAI, X. Q. (2017) 'Marine drag reduction of shark skin inspired riblet surfaces', *Biosurface and Biotribology* 3: 11-24.

- [14] ESTEBAN, G. A. *et al.* (2020) 'Experimental study of reflection in a parabolic wave dissipation system for a 2D wave flume', DYNA.
- [15] GALERA, L. *et al.* (2019) 'A triangular vortex generator modeling on a DU97-W-300 airfoil by a source term model', Proceedings of the institution of mechanical engineers. Part A- Journal of Power and Energy 233: 635-645.
- [16] LAMAS, M. I. and RODRIGUEZ, C. G. (2020) 'Hydrodynamics of Biomimetic Marine Propulsion and Trends in Computational Simulations', Journal of Marine Science Engineering 8: 1-27.
- [17] MOTTA, P. J. (1977) 'Anatomy and functional morphology of dermal collagen fibers in sharks', Copeia 3: 454-464.
- [18] MUNTER, M. *et al.* (2018) 'Applied Surface Science Microfabricated Biomimetic placoid Scale-Inspired surfaces for antifouling applications', Applied Surface Science 453: 166-172.
- [19] HEAF, N. J. (1979) '11th Annual Offshore Technology Conference', in The effect of marine growth on the performance of fixed offshore platforms in the North Sea. Houston.
- [20] OUELLET, Y. and DATTA, I. (2017) 'A survey of wave absorbers A survey of wave absorbers Revue des amortisseurs a houle', 1686 (April).
- [21] EDYVEAN, R. G. J. (1987) 'Biodeterioration problems of North Sea oil and gas production – a review', Int. Biodeterior, 23 (4): 199-231.
- [22] REUK, T. R. E. 'Oyster Wave Power' (2020) REUK. URL (Consulted January 2021): <http://www.reuk.co.uk/wordpress/wave/oyster-wave-power/>
- [23] SATHEESH, S., BA-AKDAH, M. A. and AL-SOFYANI, A. A. (2016) 'Natural antifouling compound production by microbes associated with marine macroorganisms — A review', Electronic Journal of Biotechnology 21: 26-35.
- [24] SHI, W. *et al.* (2016) 'Cavitation observations and noise measurements of horizontal axis tidal turbines with biomimetic blade leading-edge designs', Ocean Engineering 121: 143-155.
- [25] SHI, W., ATLAR, M. and NORMAN, R. (2017) 'Detailed flow measurement of the field around tidal turbines with and without biomimetic leading-edge tubercles', Renewable Energy 111: 688-707.
- [26] SMYTH, T. (2016) 'Biomimicry 2016'. URL (Consulted January 2021): <https://biomimicry2016.wordpress.com/2016/04/18/humpback-whales-stall-reduction/>.
- [27] STEVEN GUEGUEN (2016) *Risk assessment of marine energy projects*.
- [28] STOKES, G. (1847) *On the Theory of Oscillatory Waves*. Transactio.
- [29] STRATAKIS, E. *et al.* (2020) 'Laser engineering of biomimetic surfaces', Materials Science & Engineering R 141: 100562.
- [30] TECHNOLOGIES, E. (2012) 'Centipod wavepower'. URL (Consulted January 2021): <http://www.ecomeritech.com/centipod.php>.
- [31] THE BIOMIMICRY INSTITUTE (2018) 'bioWAVE'. URL (Consulted January 2021): <https://asknature.org/idea/biowave/>.

- [32] WANG, N. *et al.* (2019) ‘Kelp-inspired biomimetic triboelectric nanogenerator boosts wave energy harvesting’, *Nano Energy* 55: 541-547.
- [33] YANG, S. *et al.* (2017) ‘Biofouling on mooring lines and power cables used in wave energy converter systems - Analysis of fatigue life and energy performance’, *Physics Procedia* 65: 166-177.
- [34] ZHANG, H. and AGGIDIS, G. A. (2018a) ‘Nature rules hidden in the biomimetic wave energy converters’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 97: 28-37.
- [35] ZHANG, H. and AGGIDIS, G. A. (2018b) ‘Nature rules hidden in the biomimetic wave energy converters’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 97: 28-37.
- [36] ZHANG, Y. *et al.* (2017) ‘Influence of biomimetic boundary structure on the antifouling performances of siloxane modified resin coatings’, *Colloids and Surfaces A* 528: 57-64.





Antropozenoa: «Urre-koloreko iltze»aren bila ( <i>The Anthropocene: looking for the «Golden Spike»</i> ) <b>María Jesús Irabien, Alejandro Cearreta, Ane García-Artola, Jon Gardoki</b> .....	11
Melatoninaren eraginkortasuna loezina arintzeko: saio klinikoen berrikusketa sistematikoa ( <i>Efficacy of melatonin in the treatment of insomnia: a systematic review of clinical trials</i> ) <b>Ane Barreras, Irati Rodilla, Aitziber Mendiguren</b> .....	25
Industria farmazeutikoak ingurumenean duen inpaktua murrizteko estrategiak ( <i>Strategies to reduce the environmental impact of the pharmaceutical industry</i> ) <b>Maialen Matxain, Manoli Igartua, Rosa María Hernández, Edorta Santos-Vizcaíno</b> .....	49
Calako skarn-a: ezaugarri geokimikoak eta U-Pb datazioak ( <i>Cala skarn: Geochemical characteristics and U-Pb dating</i> ) <b>Jule Urbietta Galarraga, Sonia García de Madinabeitia, Aratz Beranoaguirre de Miguel, Jose Ignacio Gil Ibarguchi</b> .....	73
Temperatura aldaketak orekatzen dituen ehun adimentsua ( <i>Temperature fluctuations balanced by intelligent textiles</i> ) <b>Amaia Moreno, Antonio Veloso-Fernández</b> .....	87
Matrize polimerikodun konposite magnetikoen sorrera ( <i>Generation of magnetic composites with polymeric matrix</i> ) <b>Eneko Ander Aketxe-Bilbao, Leire Ruiz-Rubio, Antonio Veloso-Fernández</b> .....	107
Betizu behi arrazaren karakterizazio genealogiko eta genomikoa ( <i>Genealogical and Genomic Characterization of the Betizu Bovine Breed</i> ) <b>Asier Alvite Arregui, Juan Altarriba Farrán, Luis Varona Aguado</b> .....	127
Polioxometalatoak ingurune urtsuan: egitura esanguratsuenak ( <i>Polyoxometalates in aqueous medium: most representative structures</i> ) <b>Estibaliz Ruiz-Bilbao, Leticia Fernández-Navarro, Beñat Artetxe, Leire San Felices, Santiago Reinoso</b> .....	139
Raman espektroskoparen erabilgarritasunaren azterketa elikagaien koloratzaileak kuantifikatzeko ( <i>Study of the usefulness of Raman spectroscopy to quantify food dyes</i> ) <b>Iñaki Vázquez-de la Fuente, Nagore Prieto-Taboada, Miren Ostra-Beldarrain, Juan Manuel Madariaga</b> .....	155
Gure bihotzeko kalmodulina ( <i>Calmodulin of our heart</i> ) <b>Arantza Muguruza-Montero, Eider Nuñez, Ariane Araujo, Sara M-Alicante, Alvaro Villarroel, Janire Urrutia</b> .....	173
MARK4ren interakzioak USP21 deubikuitinasaren kokapen azpizelular dinamikoa erregulatzen du ( <i>MARK4 interaction modulates the dynamic subcellular localization of USP21 deubiquitinase</i> ) <b>Iraia García-Santisteban, Anne Olazabal-Herrero, José Antonio Rodríguez</b> .....	193
Jarduera fisikoaren, obesitatearen eta ezaugarri soziodemografikoen arteko erlazioa unibertsitateko langileetan ( <i>Interrelationship between physical activity, obesity and sociodemographic characteristics among university workers</i> ) <b>Itxazne García-Ceciaga, Ana María Valle, Inmaculada Arostegui, Jaime Zubero, Begoña Marina Jugo, Elena Díaz-Ereño</b> .....	207
Sare metal-organikoetan oinarritutako farmakoen liberazio-sistemak: biomolekulak atxikitze funtzionalizazio-estrategiak ( <i>Metal-Organic Framework-based drug delivery systems: biomolecules' incorporation functionalization strategies</i> ) <b>Leire Celaya Azcoaga, Arkaitz Fidalgo-Marijuan, Roberto Fernández de Luis</b> .....	227
Sistema endokannabinoidoak emearen ugal-fisiologia modulatzeko du ( <i>The endocannabinoid system modulates female reproductive physiology</i> ) <b>Lide Totorikaguena Iturriaga, Estibaliz Olabarrieta López, Naiara Agirregoitia Marcos, Ekaitz Agirregoitia Marcos</b> .....	241
Geologia 1-Fisika 0: Lur planetaren adina ( <i>Geology 1, Physics 0: Earth planet's age</i> ) <b>Fernando Plazaola</b> ...	253
Pobrezia Energetikoa Euskal Autonomi Erkidegoan 2008, 2012, 2016 eta 2018an ( <i>Energy poverty in the autonomous community of the Basque Country in 2008, 2012, 2016 and 2018</i> ) <b>Oihana Arisondo, Eneritz Onaindia, Ane Sanles</b> .....	283
Laser-testurizazio prozesurako eredu matematikoa ( <i>A mathematical model for the laser texturing process</i> ) <b>Oihane Murua, Jon Iñaki Arrizubieta, Marta Ostolaza, Aitzol Lamikiz, Eneko Ukar</b> .....	301
Muskuilu-maskorren hauskortasuna urratzaile gisa ( <i>On the friability of mussel shells as abrasive</i> ) <b>Juan Luis Osa, Idoia Ruiz de Apodaca, Olatz Martinez, Amaia Mendoza, Gurutz Mondragon, Cristina Peña-Rodríguez</b> .....	317
Gibealeko erradioenbolizazioaren CFD simulazioak: odolaren biskositatearen eragina gibealeko hemodinamikan eta mikroesferen banaketan ( <i>CFD simulations of liver radioembolization: the effect of blood viscosity on liver hemodynamics and microsphere distribution</i> ) <b>Unai Lertxundi, Jorge Aramburu, Raúl Antón, Jose Ignacio Bilbao, Macarena Rodríguez-Fraile, Bruno Sangro</b> .....	339
Aplikazio biomimetikoak itsas energien atzemate-gailuetan ( <i>Biomimetic applications in marine energy harnessing devices</i> ) <b>Urko Izquierdo, Asier Vázquez, Jesús María Blanco, Iñigo Bidaguren, Gustavo Adolfo Esteban, Alberto Peña, Iñigo Albaina, Manuel Soto, Guzmán Díez</b> .....	349