



Tomasa Susaeta\*

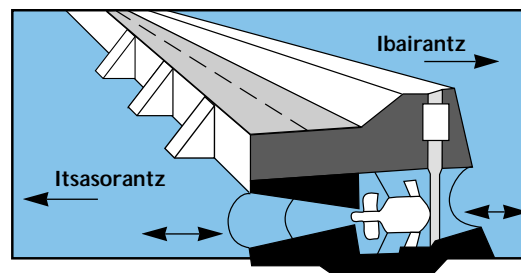
*Mareen energiatik energia elektrikoa lortzeko teknologia aspaldi asmatu zen, baina errentabilitate-eta ingurugiro-arazoak zirela eta, ez du aurrera egin. Azken urteotan, ordea, teknologiaren aurreratzeak ingurugiroa ez kaltetzeko sistemak garatzeko aukera ekarri du.*

**M**areen energiaren baliatzea ez da gauza berria. Erdi Aroan hasita, kostaldetako nekazariak itsasgoran ibaietako ura metatu egiten zuten eta marea jaistean metatutako ura askatuta ur-errotak ibilazten zituzten. Horrelako adibide ugari dugu geure kostaldean bertan. XX. mendearen bigarren erdian injineruek mareetatik energia elektrikoa eskala industrialean lortzeko bidea aztertzeari ekin diote baina, mareatik energia elektrikoa lortzea teknologikoki oso zaila ez izan arren, ekonomikoki errentagarria ez zela ikusi da. Zenbait proiektu egin ziren, baina ez ziren oso errentagarriak arazo larriak sortzen zirelako makina eta instalazioetan, hauek itsas ingurune gogorra ezin baitzuten ondo jasan. Baina 1990eko hamarkadan garbi ikusi da teknologiaren aurrerakadari esker

itsasoetatik energia merkea lortzea ez dela ametsa, benetako aukera baizik. Eta munduko hainbat estatutan proiektuak aztertzeari ekin diote.

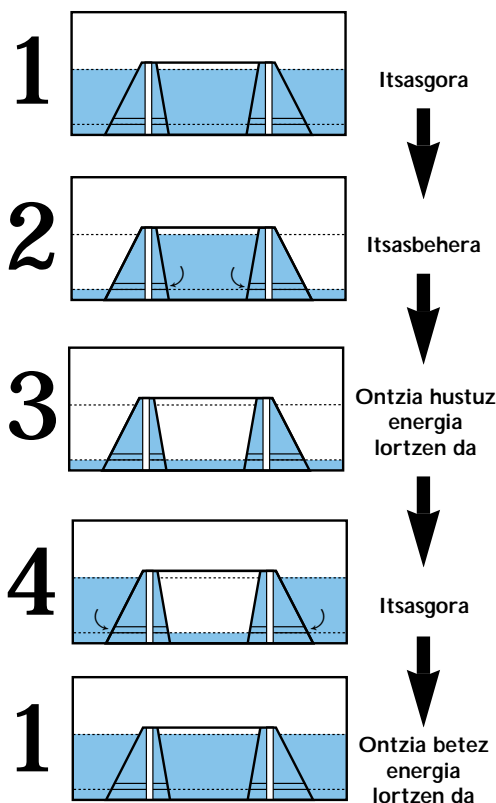
#### Estuarioetako marea-zentralak

Duela gutxi arte marea-energia erabiltzeko lekurik egokienak estuarioak zirela pentsatu da, horietan ur-bolumen handia iragaiten baita toki estu



1. irudia. Estuarioko marea-zentralaren eskema.

batean barrena eta, ondorioz, abiadura handiko ur lasterrak sortzen dira. Estuarioaren sarreran presa bat eraiki eta itsasgora hasten denean sarbidea itxi egiten da. Ondorioz, presaren itsasoko aldean uraren maila igo egiten da beste aldekoarekiko. Itsasgoraren azken bi orduetan atakak ireki eta itsasoko ura esturiorantz abiatzen da turbinetan barrena, energia elektrikoa sortuz. Itsasgora goren nean dagoenean atakak itxi egiten dira berriro eta ura estuarioan metatuta uzten da itsasoan marea beheara doan bitartean. Itsasbeheraren amaieran atakak ireki eta ura estuariotik itsasorantz isuriko da turbinak kontrako noranzkoan higiararaziz eta, oraingoan ere, energia elektrikoa sortuz. Munduan horrelako bi marea-zentral daude funtzionamenduan: 16 megawatteko bat Kanadan, Eskozia Berrian, eta oso ezaguna den



2. irudia. Itsasoko marea-zentralaren eskema.

La Rance-ko zentrala, 1967an eraikia Normandiako kostaldean, 750 m luze-ko dikea eta 240 megawatteko potentzia duena.

## Seaflo w projektua

Energia alternatiboen arloan espezializatuta dagoen IT Power enpresa britainiarra proiektu bat lantzen ari da marea-energiak baliaturik energia elektrikoa ekoiztiko lukeen sorgailu bat eraiki eta itsaspean ezartzeko. Seaflo proiektuaren helburua ez da sorgailu esperimental bat egitea, sare elektrikora konektatuta egongo den sorgailu guztiz komertziala egitea baizik. Marea-energia aprobeztatzeko orain arte erabili diren sistemek itsasbehera eta itsasgoraren arteko ur-mailaren diferentzia erabiltzen dute, baina turbinak dikeetan daude, ez itsaspean. Horregatik da guztiz berria Seaflo proiektua.

Itsaspean ezarri nahi den itsaslaster-turbina haize-sorgailuen antzekoa da, baina errotorea guztiz urpean izango du marea-energiaren erabiltzeko. Lehen prototipoa aurtan ezarri nahi dute eta 300 kilowatteko potentzia izango du, herrixka baten energia elektrikoaren beharrak asetzeko adina alegia. Erresuma Batuko kostaldean ezarriko da, baina oraindik ez dute erabaki non. Turbinaren osagai nagusia itsaspeko errotorea da: 15 metro inguruko diametroa izango du eta diseinatuta egongo da minutuko 12,5 bira egiteko 2 edo 3 metro segunduko itsaslasterrek eraginda. Turbina itsaspeko zoruan euskarritutako altzairuzko zutabe baten gainean ezarriko da.

Lehen prototipoaren emaitza arrakastatsua bada, hurrengo urratsa itsaspeko "marea-zentrala" eraikitzea izango da; horretarako 10 eta 20 turbina artean elkartu beharko lirateke eta, denentz artean, 2tik 5era megawatteko potentzia ekoiztea lortuko lukete. Potentzia hori nahikoa izango litzateke 5.000 biztanleko herri bat energia elektrikoaz hornitzeko. Eta hori 2005. urtean instalatzea aurreikusitako dute.

Zentrala ia guztiz urpean egongo da. Proiektuaren sustatzaileek diotenez, ingurugiroaren gaineko eragina zentral eolikoena baino txikiagoa izango da ez baita ia ikusiko; masta bat aterako da uretatik kanpora, itsasontziei zentrala non dagoen adierazteko.

Orain arte ez da inoiz horrelako proiekturik obratu, horrela lortuko litzatekeen energia elektrikoaren kostua ohizko energia fosilen bidez lortua baino askoz handiagoa izango litzatekeela argi eta garbi baitzegoen. Baina horixe bera gertatu zen haize-energiarekin, teknologiaren aurrerakuntzari esker zentral eolikoak ekonomikoki errentagarriak izatea lortu den arte. Gainera, duela 20 bat urte Ipar itsasoaren azpian petrolioak aurkitu zenetik, itsas ingurunean lan egin ahal izateko teknologia biziki garatu da eta petrolio-plataformetako teknologia berriak eta zentral eolikoetako azken teknologia, biak erabil daitezke itsaspeko turbinak eraikitzeko. Hori dela eta, duela 15 urte ametsa baino ez zena gaur egun errealitate izan daiteke. Horrela eskuratuko den energia elektrikoaren kostua kilowatt ordu bakoitzeko 0,10 dolarrekoa izango dela uste dute sustatzaileek. Hori energia-iturri konbentzionalak (ikatz, gasa) erabiliz lortzen dena baino garestiagoa da oraindik, baina teknologia hobetu eta garatu ahala, prezioa jaitea lortuko dela uste dute sustatzaileek.

Proiektuak 360 milioi pezetako aurrekontua du; erdia Europako Batasunak emandako laguntzaz estaliko da. Proiektua europarra da guztiz eta IT Power enpresa britainiarrek Suedia eta Alemaniako kideekin batera ari da proiektua osatzen. #

Estuarioko presaren ideia, teknologikoki, egokia da, baina ingurugiro-arazo larriak sortzen ditu: estuarioetako marea-erartekeko habitata, faunaren bizilekua, hondatu egiten da, arrainen zirkulazioa oztopatu egiten da, turbinek arrainen harrapatu eta hil egiten dituzte, nabigazioa ere oztopatzen da eta, gainera, presan harrapatuta gelditzen diren sedimentuek estuarioaren bolumena azkar murriz dezakete. Hori dela eta, ikerlari eta injineruek estuarioetako dikeen teknologia baztertu egin dute.

### Aukera bat: zentralak itsasoan

Dena den, teknologia horretan oinarrituta, baina ingurugiro-arazoak saihesteko, beste sistema bat garatu da: horretarako itsasoan, kostaldetik hurbil, urmael bat, barruti harresitu bat alegia, eraiki behar da itsas azpiko zoruan euskarrituta. Marea goian dagoela (1) urmaela urez beteko da eta ura hor metatuko geldituko da marea jaisten hasten denean. Marea behean dagoela (2) urmaeleko ura eta itsasoko ura ez daude

## Marea gora, marea behera

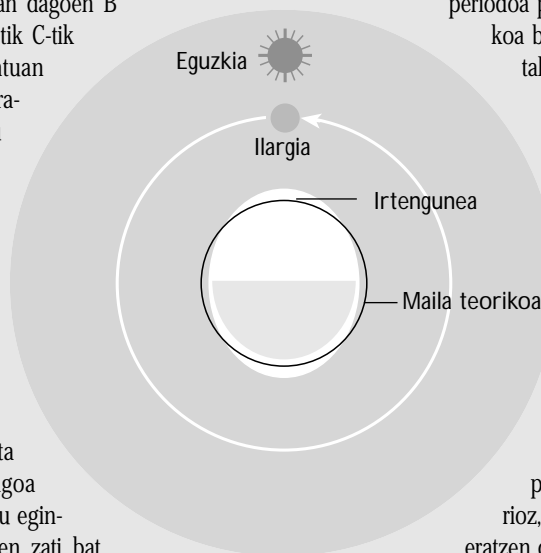
Mareak itsasoetako ur-masa handien eguneroko mugimenduak dira, Eguzkiak eta Ilargiak bere ardatzaren inguruan biraka ari den Lurraren gainean eragiten duten erakartze-indarraren ondorioz sortuak.

Lurra Ilargiaren erakartze-indarra jasaten du, baina astro horren eta Lurra osatzen duten partikula material bakoitzaren arteko distantzia ez da berdina eta, ondorioz, partikula guztiek ez dute erakartze-indar bera jasaten (erakartze-indarra masen arteko distantziaren berbidurarekiko alderantziz proportzionala da). Eman dezagun Ilargia Lurraren A toki baten zenitean dagoela, Ilargitik eta A puntutik pasatzen den zuzena Lurraren zentrotik (Z puntutik) eta A puntuaren antipodetan dagoen B puntutik ere pasatzen dela. Ilargia A-tik C-tik baino gertuago dagoenez, A puntuan dagoen masak C-n dagoenak baino erakartze-indar handiagoa jasango du eta, alderantziz, B-n erakartzea txikiagoa izango da C-n baino. Lurra urez estalitako globo leun bat dela joz gero, eta ura erraz deformatzen denez, A-n dagoen erakartze-indar handiagoak ezeztatu egingo du ura planetaren erdirantz bultzatzen duen grabitate-indarraren zati bat eta itsasoa altxatu egingo da A puntuan, bai eta A inguruan ere. Eta Ilargiaren erakartzea C-n handiagoa denez B-n baino, indar horrek ezeztatu egingo du B-n dagoen grabitate-indarraren zati bat eta, harrigarria badirudi ere, B puntuan eta inguruetan ura altxatu egingo da, A-n altxatzen dena baino gutxiago bada ere. Eta, jakina, A eta B inguruetara doan ura bi puntu horien arteko eskualdeetatik iritsiko da eta, ondorioz, leku horietan itsasoa maila jaitsi egingo da.

Hori da marearen azalpen estatikoa (oso erraztua). Baina Lurra bere ardatzaren inguruan biraka ari denez, uraren altxatze horiek Lurraren azaletik lekualdatuko dira Ilargira begira egoteko beti eta, ondorioz, egunean Lurraren azalaren inguruan bira oso bat egingo dute. Beraz, marea sistema dinamikoa da, bi uhin dituen, nagusi bat (A puntukoa) eta sekundario bat (B puntukoa), Lurraren inguruan biraka ari direnak egun beteko periodoarekin. Baina mareen fenomenoak askoz konplexuagoak da. Hasteko, mareetan ez du bakarrik Ilargia eragiten, Eguzkiak ere eragiten baitu (Ilargiak baino gutxiago, askoz urrutiago baitago). Bestetik, Lurra ez da nukleo solido bat urez estalia: Lurraren azalean itsaso-

ak, uharteak eta kontinenteak daude tartekatuta eta horrek aldaketa nabarmenak eragiten ditu lehenago azalduko eredu bakanen.

Izan ere, astroen arteko posizio eta erakartze-indarrez gainera, erresonantzia-fenomeno konplexuak hartu behar dira kontuan. Uraren gainean dagoen uhinarekin periodoa ur hori dagoen ontziaren geometriaren arabera da. Neurri desberdineko bi ontzi edo bi pertz hartu, urez bete eta ontzi bakoitzaren erdian urazalaren gainean bolatxo bat botaz gero, uhin bat sortuko da: pertz bakoitzaren ertzean ura aldizka altza eta jaitsi egingo da, baina oszilazioaren periodoa desberdina izango da pertz bakoitzean, periodoa pertzaren forma eta neurriaren arabera koka baita. Itsasoa berdin gertatzen da: kostaldearen forma, sartune eta irtegunek, itsas hondoko erliebea, sakonera-desberdintasuna... faktore guztiek eragiten dute eta, ondorioz, itsasoa ez da arto bakar bat gisa jokatzeko, baizik eta arto handi, ertain eta txiki askok osatutako multzoa da, arto bakoitzak bere oszilazio-periodoa duela. Gainera, artoek elkarri eragiten diote eta, aurrekoa gutxi balitz, erresonantzia-fenomenoak ere gertatzen dira, interferentziak, fenomenoaren konplexutasuna handiagotuz. Horren ondorioz, askotariko marea-motak eta sistemak eratzten dira.



### Marearen bitxikeriak

Fenomeno horiek guztiek eragiten dute, adibidez, ozeanoen erdian eta itsaso itxietan mareek oso anplitude txikia izatea (Mediterranean, adibidez, 20 cm inguru bakarrik), edo Ipar Atlantikoan edo Indiako Ozeanoko zenbait puntutan marearik batere ez egotea, Kanadako Fundy badian, Eskozia Berrian, 17 m-ko anplitudea duen bitartean; edo gure kostaldean egunean bi itsasgora eta bi itsasbehera ditugun bitartean, Vietnamgo kostaldean itsasgora eta itsasbehera bakarra egotea; edo gure inguruan mareak egun batetik bestera ia ordubeteko atzerapena duen bitartean, Tahitiko kostaldean itsasgora eta itsasbehera beti ordu berean izatea. Edo, beste adibide bat jartzearren, Normandian, Mont-Saint-Michel-en, mareak ia 13 m-ko anplitudea izatea, handik gertu dagoen Mantxako kanalaren sarreran 6,5 m eta gure kostaldean, Bilbon adibidez, 4 m baino ez dituen bitartean. #

maila berean eta, atakak irekita, urmaeleko ura itsasora isuriko da turbinetan barrena; urrats honetan zentralak energia elektrikoa sortzen du. Hustu ondoren (3), urmaleko ura eta itsasoko ura maila berean daude. Orduan urmaele-

rako sarbidea itxi egingo da eta marea igozten denean (4) berriz ere maila-desberdintasuna izango da itsasoko uraren eta urmaeleko uraren artean. Balbulak ireki eta itsasoko ura urmaele-ra sartuko da turbinetan barrena;

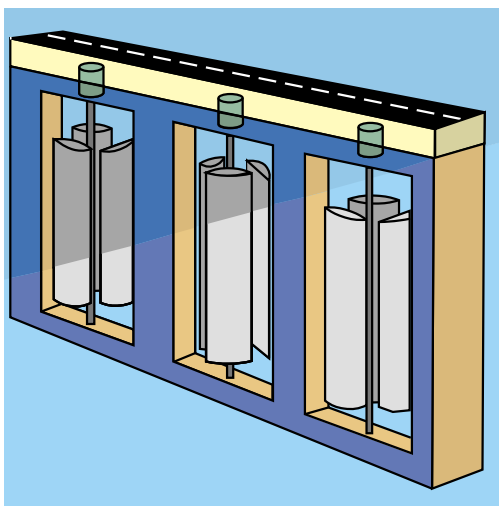
urrats honetan ere zentralak energia sortzen du. Urmaela betetzen denean (5), zikloa berriro hasten da. Horrelako marea-zentralak egiteko proiektuak garatzen ari dira Alaskan, Mexikon eta Indian.



## Itsaslasterrak helburu

Ingurugiro-arazoak zirela eta, estuarioetako mareen teknologia alde batera utzi eta kostaldeko itsaslastarren potentziala aztertzen hasi ziren ikerlari eta injineruak. Izan ere, mareak igo eta jaitsi egiten direnez, itsasertzen inguruan itsaslasterrak sortzen dira maiz (sarritan badia eta estuarioetatik urrun). Leku askotan itsas azpiko zoruaren erliebeak ura kanal estuetan barrena iragaitera edo lurmuturrak inguratzea behartzen du, lehorrean orografiak haizea ibar estuetan barrena edo mendiak inguratuz ibilaraztera behartzen duen bezala. Baina itsasoko uraren dentsitatea airearena baino askoz handiagoa da (832 aldiz). Horrek esan nahi du segundoko 2,5 eta 4 metro bitarteko abiadura duen itsaslasterrak 390 km/h-ko abiadurako haizeak duen adina energia zinetiko duela. Eta beste abantaila bat du: haizeak noiz joko duen ez dago jakiterik, ez du egunero jotzen, baina mareek eragindako itsaslasterra egunerokoa da.

Gaur egun bi teknologia garatzen ari dira itsaslasterrak energia eskuratzeko: marea-hesiak eta marea-turbinak.

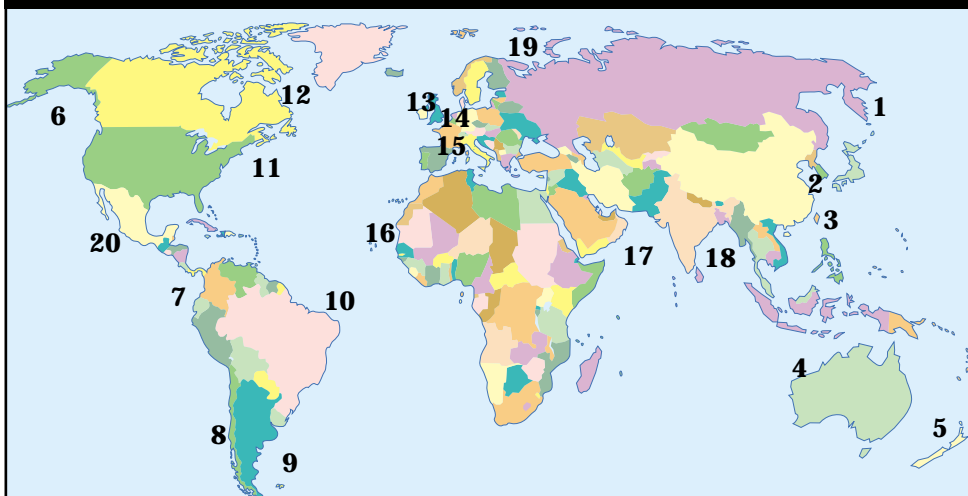


3. irudia. Marea-hesiaren eskema.

## Marea-hesiak

Marea-hesien teknologia estuarioetako presen teknologiaren antzekoa da, baina oraingoan estuarioetan ez eta itsasarteetan edo uharte txikien arteko kanaletan kokatu nahi dira. Ez dute

## Marea-energia erabiltzeko munduko gune aproposenak



- |                                 |                                 |                            |
|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| 1. Siberia                      | 8. Txile                        | 15. Le Havre, Frantzia     |
| 2. Intxon, Korea                | 9. Loyola lurmuturra, Argentina | 16. Ginea                  |
| 3. Hangzhou, Txina              | 10. Brasil                      | 17. Gujarat, India         |
| 4. Hall's lurmuturra, Australia | 11. Fundy badia, Kanada         | 18. Birmania               |
| 5. Zeelanda Berria              | 12. Frobisher Bay, Kanada       | 19. Semzha River, Errusia  |
| 6. Anchorage, Alaska            | 13. Ingalaterra                 | 20. Colorado ibaia, Mexiko |
| 7. Panama                       | 14. Anberes, Belgika            |                            |

ur-mailaren diferentziaz lan egingo, hau da, ez dute ura inon metatu behar, mareak eragindako itsaslasterraren energia zuzenean erabiliko baitute turbinak higiarazteko. Marea-hesien abantaila nagusia makineria elektrikoa (sorgailuak eta transformadoreak) ur gainean ezarri ahal izatea da. Horrelako hesiak egiteko proiektuak garatzen ari dira Filipinetan eta Japonian. Adibidez, Filipinetako gobernuak 136 milioi dolarreko inbertsioa egingo du horrelako instalazio bat eraikitzeke Mindano uharterako iparraldean. Instalazioak 30 megawattetako potentzia izango du eta Japoniako Kurushima itsasarteetan japoniarrek zuten instalazio pilotu batean gertatutakotik ikasi dute (han itsasoko landareak hazi eta ugaldtu egin ziren turbinaren kokalekuan eta errendimendua murriztu zuten) eta teknologia hobetu dute: Davis izeneko turbina berria erabiliko dute. Ardatz bertikaleko turbina da, hegalak ere bertikalak dituen, turbinaren ardatzarekiko paralelo alegia.

## Marea-turbinak

Beste aldean, marea-turbinak daude. Hauek hesia edo presa behar dutenak

abaino egokiagoak dira ingurugiroaren aldetik, itsasontzi txikiek jarrai baitezakete ingurua erabiltzen eta eraikitzeke askoz material eta lan gutxiago behar baitute. Adibidez, 20 m-ko diametroko turbina batek 60 m-ko diametroko haize-sorgailu batek adina energia lor dezake. Eta ez da ikusten, ez entzuten, ur azpian baitago. Horrelako turbinek errendimendu ona ematen dute itsaslasterraren abiadura 2-3 m/s-koa denean (txikiagoa bada errendimendua biziki murrizten da eta ez dira ekonomikoki errentagarriak eta abiadura handiagoa bada makineria eta instalazioak asko garestitzen dira). Kokalekurik egokiena kostaldetik gertu, gutxi gorabehera 30 m-ko sakoneran, dute. Teknologia honen sustatzaileek diotenez, kokalekurik egokienetan 10 megawattetik gorako potentzia lor liteke kilometro karratuko. Teknologia hori erabiltzen du 19. orko laukian aipatzen den Seaflow proiektuak, aurtent bertan martxan jarriko omen dena.



\* Elhuyar