

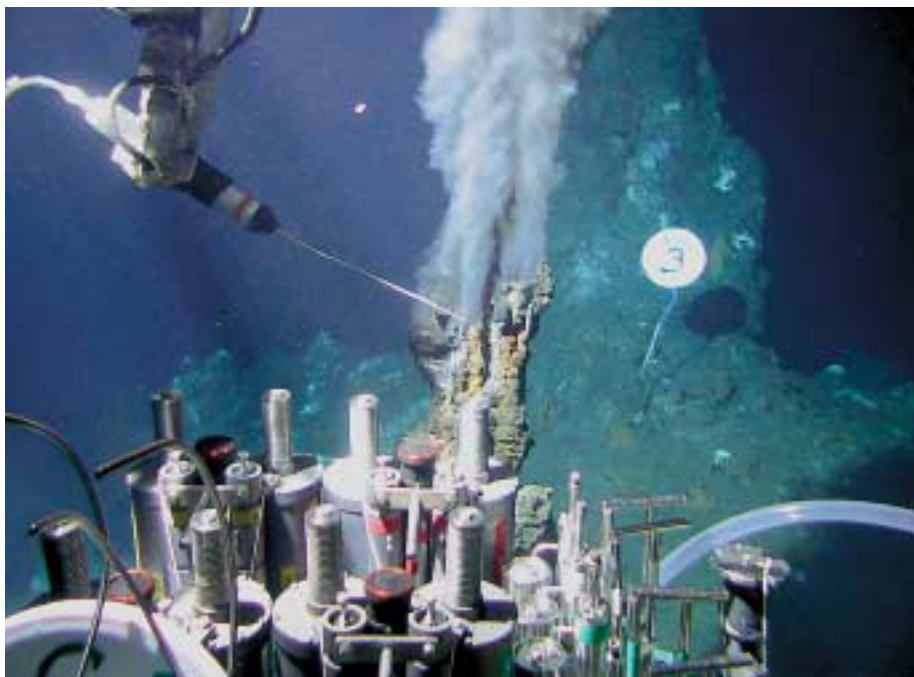
# Itsas hondoa, unibertso gorria

**Galarraga Aiestaran, Ana**

Elhuyar Zientziaren Komunikazioa

**1960ko hamarkadan, espazioaren konkista puripurian zegoen. Estatuabatuarek eta errusiarrek lasterketa zientifiko eta teknologiko bat jokatzzen zuten, nor iritsiko urrutiago, nork aurkituko mundu harrigarri gehiago espazio zabalean. Baina, garai berean, artean esploratu gabeko beste unibertso bat ikertzen hasi ziren zientzialari batzuk. Eta oinekin zapaltzen dugun mundua ulertzeko gako batzuk itsas sakonean zeudela ikusi zuten.**

MENDETAN ZEHAR, GEOGRAFOEK, GEOLOGOEK ETA OZEANOGRFOEK USTE IZAN ZUTEN itsas hondoa eremu mortua zela, jarduerarik eta bizirik gabekoa. Besterik gabe, kontinenteen higaduraren produktua eta azalean bizi diren animalien eskeletoak metatzen diren lekutat hartzen zuten itsas hondoa.



Itsas hondoko tximinia hidrotermalak ezagutzeak plaka-tektonikaren teoria osatzen lagundu du.

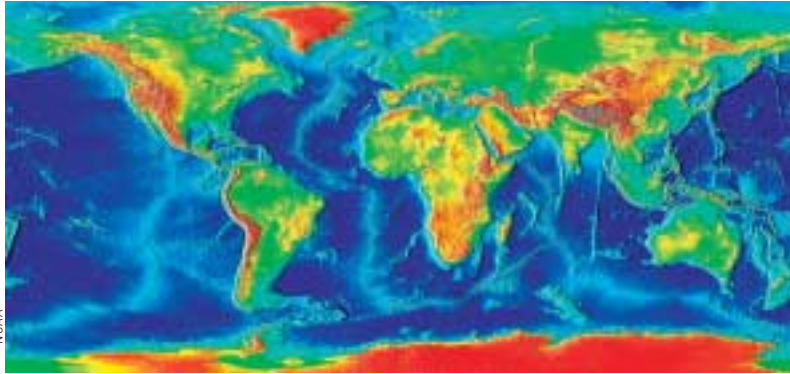
Ikuspegi hori ez zen aldatu 1960ko hamarkada arte. Hain zuzen, garai hartan hasi ziren ozeanoen hondoa esploratzen. Ordura arte teknologia ez zegoen itsas hondoraino jaisteko bezain aurreratuta, baina, 1964an, estatuabatuarek *Alvin* itsasoratu zuten. Ilargira joateko *Apollo* diseinatu zuten bezala, itsas hondora heltzeko barruan hiru pertsona har zitzakeen itsaspeko bat egin zuten, eta, gaur egun, itsaso sakonera pertsonak eramaten jarraitzen du oraindik *Alvin*-ek.

Hein handi batean, hari eta antzeko itsaspekoei zor diete zientzialariek itsas hondoaz dakitena.

## Plaka-tektonikaren aztarnak

Besteak beste, plaka-tektonikaren teoria osatzen lagundu dute itsaspeko tripulatueta egindako espedizioek. Hain zuzen ere, munduko ozeano-dortsalean urperaldi ugari egin dituzte zientzialariek, eta lurrazal berria han sortzen delako frogak behatu dituzte, bertatik bertara.

Plaka-tektonikaren teoriaren arabera, hedapen ozeanikoak mugiarazten ditu plaka kontinentalak. Eta, hain juxtu, dortsalean sortzen da mugimendu hori. Dorsalaren ardatzean, erupzio bolkanikoak gertatzen dira, eta laba-kolada



Ozeano-dortsala hirurogei mila kilometro luze da, eta munduko ozeano guztiak zeharkatzen ditu.

izugarriak isurtzen dira. Gehienetan kolada basaltikoak izaten dira, eta lurrazal berria eratzen dute. Erupzio gehiago gertatu ahala, lurrazalaren eremu sortu berriak ardatzetik aldendu egiten dira.

Urtean zentimetro batzuk mugitzen dira alboetara; hortaz, gizakiaren denbora-eskalan, mugimendua ez da nabarmentzen. Baina geologian denbora milioi urtekotan neurtzen da, eta, milioi bat urteko tartean, hamarka kilometro aldentzen da hondoa. Hala, hamarka milioi urtera, ozeano-hondoak sortu ziren dortsaleetik ehunka edo milaka kilometrora daude.

“ozeano-dortsalean sortzen da plaka kontinentalak mugiarazten dituen hedapen ozeanikoa”

Dortsaleetik urrundu ahala, lurrazal ozeanikoa hozten doa, eta haren dentsitatea handitu egiten da. Lurrazal ozeaniko horren dentsitatea azpiko mantuarena baino handiagoa denean, hondoratu egiten da. Hondoratzen den

eremuari subdukzio-aldea deitzen zaio. Mantuan, lurrazala urtu egiten da; beraz, geologoek dioten bezala, lurrazala 'birziklatu' egiten da, horrekin lurrazala eratzekeo prozesua biribiltzen baita.

Horren guztiaren sorburua, ozeano-dortsala, 60.000 km luze da, eta munduko ozeano guztiak zeharkatzen ditu. Islandian eta beste lekuren batean izan ezik, ur azpian dago, eta gandorra gutxi gorabehera 2.500 metroko sakoneran dago. Dortsala bera 2.000-3.000 metro altxatzen da kontinenteetatik bereizten duten haran abisalen gainean.

### Ur azpiko sumendiak

Hala ere, oraindik galdera asko daude erantzuteko itsas hondoko jarduera bolkanikoaren gainean. Adibidez, orain arte inork ez du aurrez aurre ikusi erupzio bat gertatzen ari den unean. Aitzitik, badira hogeita hamalau urte hedapen ozeanikoaren arrasto garbiak deskubritu zituztela. AEBko eta Frantziako zientzialariek bultzatutako Famous (*French American Mid Ocean Undersea Survey*) operazioan izan zen,

### Esploratzaile txikiak

1960ko hamarkada arte, batiskafoak erabiltzen ziren itsas hondora jaisteko. Haiekin, errekor ikusgarriak egin zituzten. Adibidez, 1960ko hamarkada hartan, *Archimede* batiskafo frantziarrak 10.800 metroko sakonerara iristea lortu zuen, Marianetako fosan. Urperatze haiek, ordea, ez zuten helburu zientifiko handirik. Izan ere, batiskafoak ez ziren batera egokiak hondoa esploratzeko; oso astunak ziren (200 tona), eta ez ziren hondoa mugitzeko gai.

1964an, baina, itsas hondoa ikertzeko bereziki diseinatutako lehen itsaspeko tripulatua egin zuten: *Alvin*. Hark eta haren ondoren egin ziren antzekoek iraultza ekarri zuten itsas hondoaren esploraziora. Itsaspeko gogorrek dira, sakonera handietan dagoen presioa jasateko, eta, aldi berean, arinak dira. *Alvin*-ek, esaterako, 17 tona besterik ez du pisatzen, baina haren titanio eta burdinazko esferak ondo jasaten du 4.500 metroko sakoneran dagoen presioa (hori da *Alvin*-ek har dezakeen sakonera maximoa).

Sakonera horretara heltzeko, gutxi gorabehera bi ordu behar ditu *Alvin*-ek, eta beste hainbeste igotzeko. Urperaldi bakoitzean gehienez hamar ordu ematen ditu

ur azpian, barruan pilotu bat eta bi zientzialari daramatzala. Beraz, zientzialariek 4-6 ordu dituzte, zoruan etzanda leihoetatik ingurua behatzeko, argazkiak atera eta filmak egiteko, beso robotikoaren bidez laginak biltzeko eta lekuan bertan esperimenduak egiteko. Dena dela, hiru pertsonak 72 ordu igartzeko adina oxigeno darama *Alvin*-ek barruan, badaezpada ere.

Norahiri mugitzeko gaitasuna du, sei propulsaile alderantzizkagarri esker. Hala, nahi duen sakoneran flotatzen gera daiteke, hondoa jarri, edo erliebe malkartsuari jarraituz hondoaren gainean nabiga dezake. Hondoratzea eta azalera grabitatearen eta buien bidez egiten du, besterik gabe.

Guztira, 4.200 urperatze baino gehiago egin ditu *Alvin*-ek, eta 12.000 zientzialari, ingeniari eta behatzaile eraman ditu ozeano sakonera. Sortu zutenetik, asko berri-itu dute; adibidez, 2006an beste beso robotiko bat jarri zioten. Baina oinarriko hainbat gauza ezin dituzte aldatu; beraz, haren ordezkoa egiten ari dira. Hala ere, lehen esploratzaile txikiak lan paregabea egin dute ozeano-hondoaren esplorazioan.



MAX PLANCK INSTITUTUA



Dortsalean gertatzen diren erupzioetan laba gutxi isurtzen bada, burko-itxurako egiturak sortzen dira (ezkerreko argazkia). Laba asko isurtzen bada, berriz, aintziren moduko egiturak eratzen dira (goian).

1973-74an. Xavier Le Pichon geologoak zuzendu zuen, eta Azoreen hegoaldera 700 bat kilometrora dagoen rifta esploratu zuten, hau da, Atlantiko Erdiko dortsalaren gandorra erdibitzen duen haran sakona. Hedapen ozeanikoaren aztarnak ikustea zuten helburu.

Operazio hartan, *Alvin*-ez gain, *Archimede* batiskafoa eta itsaspeko tripulatu frantziar bat erabili zituzten, *Cyana*. Haren barrutik, zientzialariek basaltzoko mundu harrigarri bat ikusi zuten lehen aldiz. Operazio benetan emankorra izan zen, itsaspekoek aukera eman baitzieten ozeano hondoa gainean ibiltzeko, eta beren begiz ikusteko lurrazal sortu berria. Ikusi ez ezik, irudiak hartu eta laginak bildu zituzten, eta hainbat parametro fisiko-kimiko neurtu zituzten han bertan.

Famous-en ondotik, ozeano-hondoa esploratzeko espedizio gehiago etorri ziren. Itsaspekoaz gain, itsasontzi zulatzailea ere erabili zuten esplorazio haietan. Itsasontzi zulatzailea oso baliagarria da geologoentzat, 6 cm-ko diametroko eta hainbat metroko luzerako zutabe zilindrikoak jasotzen baititu. Hartara, lurrazal ozeanikoaren konposizioa eta egitura azter daiteke, eta baita estaltzen duten jalkinena ere.

### Tximinia hidrotermalak

Famous-en hurrengo esplorazio eza-guna Cyamex izan zen, 1978an. Ordurako, geologoak liluratuta zeuden

dortsalean gertatzen diren erupzioek sortzen dituzten egiturekin. Magma basaltikoa 1.200 °C-an ateratzen da, eta itsas ura, berriz, 2 °C-an dago.

“*Cyamex operazioan, ordura arte ezagutzen ez ziren egitura batzuk aurkitu zituzten: tximinia hidrotermalak*”

Hortaz, berehala solidotzen da, eta, isuritako bolumenaren arabera, itxura

desberdina hartzen du. Ez bada laba asko isurtzen, burko-itxurako egiturak sortzen dira (*pillow lava*, ingelesez). Forma askotakoak izaten dira, hodian antzekoak sarritan. Aldiz, laba asko isurtzen denean, labak zirrikitu guztiak betetzen ditu, eta egitura lauak sortzen dira, aintziren modukoak.

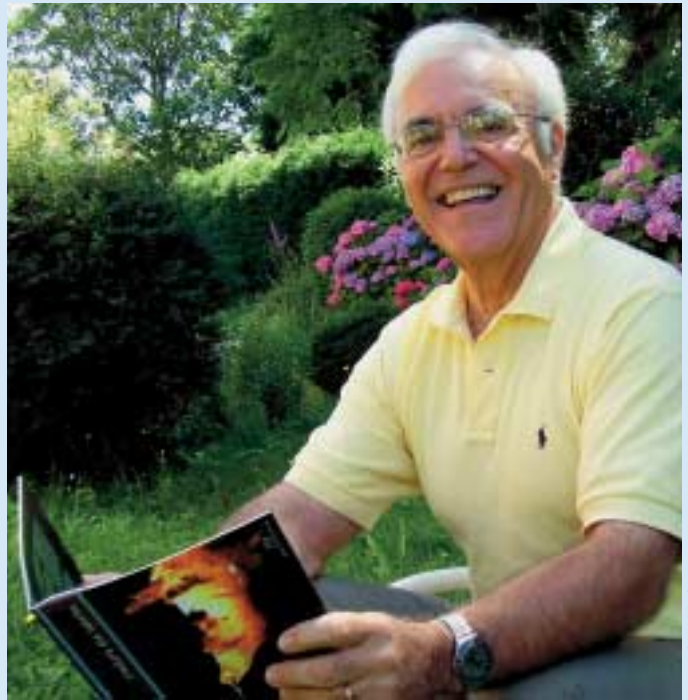
Cyamex operazio franko-mexikarrean, Kaliforniako golkoaren sarreran, Mexikoko uretan, ordura arte ezagutzen ez ziren beste egitura batzuk deskubritu zituzten: tximinia hidrotermalak. Egunduean, zientzialari mexikar bat jaitsi zen *Cyana*-ren barruan, eta kolore biziko egitura berezi bat ikusi zuen. Gainean, hildako animalien aztarnak zituen, hala nola desegiten hasitako



Itsasontzi zulatzaileari esker, lurrazal ozeanikoaren konposizioa eta egitura azter daitezke, eta baita estaltzen duten jalkinena ere.

**Thierry Juteau:  
“Sekula ez dut ahaztuko  
1979ko apirilaren 21ean  
ikusitakoa”**

Thierry Juteau ezaguna da geologo ona eta komunikatzaile aparta izateagatik; baina, batez ere, tximinia hidrotermalak aurrez aurre ikusteko aukera lehenengo aldiz berak izan zuelako da ezaguna. Zumaian aurkikuntza hari buruz eman zuen hitzaldi batean jarri genuen harekin hitzordua. Hala, duela gutxi, Juteauk Hendaiaiko bere etxean hartu gaitu, eta, patxada ederrean, bere bizipenak eta ikerketak azaldu dizkigu, adeitasun handiz.



A. GALARRAGA

**Zuk geologia ikasi zenuen; nola sortu zitzaizun itsas hon-  
doekiko interesa?**

Nik 1960ko hamarkadaren lehen urteetan egin nituen unibertsitateko ikasketak, eta garai hartan ez zen ozeanoaz hitz egiten, erabat ezezaguna baitzen. Berez, ofiolitak aztertzen hasi nintzen. Ofiolitak gaur egun lurrazal kontinentalaren gainean dauden antzinako lurrazal ozeanikoaren zatiak dira. Eta ikaragarria da haien arteko antzekotasuna: Omanen dago munduko ofiolitarik handiena, eta, han nagoenean, itsas hondoa-  
ren gainean nagoelako sentipena dut.

Baina artean ez genekien nolakoa zen itsas hondoa. Orduantxe, 1960ko hamarkadan, estatubatuarrek ozeano hon-  
doen mapa egiten hasi ziren, eta haiek ikusi zuten dortsal ozeanikoa. Eta garai hartan sortu zen plaka-tektonikaren teoria (1967-68) ere, eta dortsalak hor funtzio garrantzitsua zuela pentsatzen hasi ziren. Hala, nire espezialitatea dortsal fosilak izanik, dortsal aktiboak ikusteko gogoia piztu zitzaidan.

**Eta gogoia betetzeko aukera izan zenuen.**

Bai, zorte handia izan nuen, orduan hasi baitziren geologoak espedizioetan parte hartzen. Izan ere, itsas hondoa ikerketak geologikoak egiteko behar genituen tresnak egin zituzten: itsaspeko txikiak (*Alvin* eta *Cyana*, adibidez) eta ontzi zultzailea. Hain zuzen, ontzi zultzailean bi kanpaina egin nituen, bat misio-zuzendari gisa.

Dena den, urpekoa aztertu nahi nuen. Famous operazioan ez nuen parte hartzerik izan, baina hurrengorako, Cyamex espediziorako, eskaera egin nuen, eta onartu egin ninduten, ofiolitetan aditua izateagatik. Misio hura oso garrantzitsua izan zen, egitura interesgarri piloa aurkitu genuen, baina tximinia aktiboak topatzeko aukera izan baino lehen bukatu zen.

Hala ere, hurrengo urtean hara itzuli ginen, Rise espedizioan, eta orduan bai, lehen aldiz, ekosistema hidrotermalak ikusteko pribilegioa izan nuen. 1979ko apirilaren 21ean izan zen, eta ez dut sekula ahaztuko. Haluzinagarria izan zen.

**Ordutik ozeano hondoa ikertzen jarraitu duzu?**

Bai, hainbat eta hainbat urperatze egin ditut, baina beti gorde izan dut leku bat lehorrean: Omango ofiolita. Niretzat, leku kuttuna da. 1981ean hasi nintzen hura aztertzen, eta oraindik ere joaten naiz.



B. HACKER/KALIFORNIAKO UNIBERTSITATEA

Omango ofiolita munduko handiena da, eta hura ikertzen piztu zitzaion Juteauri itsas hondoa ezagutzeko gogoia.

oskolak. Jarraian, beste urperaldi batzuk egin zituzten han inguruan, eta ur-laster beroen arrastoak, zizare-fosilak, hildako txirlak eta tximinia gehiago aurkitu zituzten. Baina denak hilda zeuden.

### Bat-batean... oasia

Hurrengo urtean, 1979an, tximinia hidrotermal aktiboak topatzeko asmoz, zientzialari frantziarrak eta estatubatuarrek leku berera itzuli ziren, Rise operazioan. *Angus* ontzia eraman zuten, hondoaren argazkiak ateratzeko. Sonarrarekin lekua aukeratu, eta kate bolkanikoaren gainean, hondoaren milaka argazki atera zituzten. Haietan, biziaren arrastorik ba ote zegoen begiratzen zuten. Horren arabera aukeratu zuten non urperatu, *Alvin*-en barruan sartuta.

Horrela deskubritu zituzten lehen tximinia aktiboak. Hain juxtu, Bresteko Unibertsitateko irakasle emeritu den Thierry Juteau geologoak ikusi zituen lehen aldiz, eta txundituta geratu zen haien inguruko ekosistemarekin. Iluntasun betean, ozeanoak mortua dirudien sakoneran, milaka animalia biltzen ziren ur beltza isurtzen zuten fumarola ikusgarrien inguruan: karra-



Ozeanoaren hondoan, erabat mortua dirudien munduan, milaka animalia biltzen dira fumarolen inguruan.

T. JUTEAU

marroak, olagarroak, arrainak, zizareak, muskulu erraldoiak... Izan ere, fumarolek karbono dioxidoa, metanoa eta, batez ere, hidrogeno sulfuroa isurtzen dituzte ur beroan disolbatuta (ura 350 °C-an ateratzen da). Horrenbestez, ingurua aproposa da bakterio anaerobioak hazteko, eta haiekin sinbiosian ornogabe eta ornodun ugari bizi dira.

tzen, eta, pixkanaka, inguruko basaltozko arroken gainean metatu, eta azal beltz bat sortzen dute.

Orduz geroztik egindako ikerketetan, zientzialariek frogatu dute fumarolak itsas hondoko sistema hidrotermalaren parte direla. Hain zuzen, ozeanoko ur hotza lurrazalaren arrakaletatik hondoratzen da. Jaistean, arroken mineralak disolbatzen ditu. Lurrazalaren azpian, berriz, magma-ganberen goialdean, tenperatura altuko erreakzioak gertatzen dira. Ondoren, jarioan hidrotermalak tximinietatik ateratzen dira, fumarola beltz gisa –tximinien emaria segundoko metro kubiko batekoa baino handiagokoa izan daiteke—. Sistema osoa ezinbestekoa da, itsas uraren konposizioa egonkorra izan dadin.

*“zientzialariek frogatu dute fumarolak itsas hondoko sistema hidrotermalaren parte direla”*

Fumarolak berak ‘metalezko eraikinak’ dira. Uretan disolbatuta sulfuro metalikoak ateratzen dira, eta, ozeanoaren ur hotzarekin kontaktuan jartzean, hauspeatu egiten dira berehala. Horrela, pirita ( $\text{FeS}_2$ ), kalkopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), blenda ( $\text{ZnS}$ ) eta galena ( $\text{PbS}$ ) pixka bat, eta kaltzio sulfato ( $\text{CaSO}_4$ ) zuria duten egitura horiek sortzen dira. Beste gatz mineral batzuk (burdin, manganeso- eta kobalto-hidroxidoak) tximiniaren gainean 200-3.000 metrora geratzen dira flota-

Itsas hondoaren esplorazioa ez da amaitu, baina garbi dago aurrerapen teknikoak ahalbidetu ahala gero eta hobeto ezagutuko dugula urpeko unibertsoa. Gainera, interes ekonomikoak ere ari dira bultzatzen ozeano-hondoaren esplorazioa: lur gaineko meategiak agortzen ari direnez, iturri berrien bila hasi dira. Eta ozeano dortsala metal-biltegi oparora da. ◻



Tximinia hidrotermalak ‘metalezko eraikinak’ dira.

MAX PLANCK INSTITUTUA