

# Itsaspeko iturriak: harridurazko guneak

*Luis M. Agirrezabala*

Estratigrafia eta Paleontologia Saila  
Euskal Herriko Unibertsitatea  
644 P.K., 48080 Bilbo  
l.agirrezabala@ehu.es

**Laburpena:** 1960ko hamarkadatik hona itsaspeko iturri anitz aurkitu dira munduko ozeano guztietan. Iturri hauek, agerian uzten dute lurpeko gas eta likido fluido-en eta ozeanoetako uraren artean trukaketa handia gertatzen dela. Iturrien ezaugarri fisikoak, darizkien fluidoak (konposizioa eta temperatura) eta, hein handi batean, bertan bizi diren komunitate biologikoenak ere, prozesu geologikoen eragindakoak dira. Hidrokarburo-iturri hotzen kasuan, kontinente-ertzetik lurpeko arroketan eta sedimentuetan dauden gasak (nagusiki metanoa) eta petrolioa dira bertatik ateratzen direnak. Iturri hidrotermalei darizkien fluidoak epelak edo beroak (<450°C) dira, eta konposatu kimiko anitzetan aberatsak; fluido hauek lurpeko gorputz magmatikoekin ukipenean egondako urez osatuta daude. Hidrokarburo-iturri hotzetan eta iturri hidrotermaletan izaten diren komunitate biologikoak oso antzekoak dira, inguruko hondokoenak ez bezala: izaki ugariz osatuak eta kimiosintesian oinarritutakoak. Itsaspeko iturriek gizakiarengan ere eragin handia dute, eta batzuek ondorio kaltegarriak dakarzkietarik ere, beste batzuk onuragarriak suertatzen zaizkio.

**Abstract:** Since 1960s a lot of submarine springs have been discovered in all oceans of the world, which are indicative of the extensive exchange between sub-seafloor fluids (gas and liquid) and the sea water. Characteristics of the springs, expelled fluids (composition and temperature) and indigenous biological communities are controlled by geological processes. In the case of the cold seeps, expelled fluids are natural gas and petroleum derived from continental margin subsurface rocks and sediments. Fluids of hydrothermal vents are warm to hot (<450°C) and show great richness in chemical compounds; these fluids are composed of waters which have been in contact with subsurface magmatic bodies. Biological communities from cold seeps and hydrothermal vents are very similar and sustained by chemosynthesis. Submarine springs have important implications for man, some of them are hazardous while others produce benefits.

## SARRERA

Lur-zientzialariek 1960eko hamarkada gogoan dute plaka-tektonikaren «iraultzaren» garai bezala. Hamarkada berean eta hurrengoan itsaspeko iturrien aurkikuntza masiboak egin ziren. Iturri hauek lurpetik itsasoratzen diren jarioen handitasunaren adierazle dira. Itsaspeko iturri batzuk konposatu kimikoz kargaturiko fluido berokoak dira (iturri hidrotermalak), eta beste batzuk hidrokarburotan aberatsak diren fluido hotzekoak (hidrokarburo-iturri hotzak). Ordutik, gero eta garbiago dago itsas hondoko iturrien jarioen eragileak diren prozesu geologiko dinamiko hauek garrantzi handia dutela itsas sistemaren izaeran eta konposizioan; hala da itsas geologian ez ezik, ozeanoen konposizio kimiko eta biologikoan ere. Gaur egun, Lurraren iraganean bezala, itsas hondoon gertatzen den fluidoaren trukaketa ozeanoen eta atmosferaren artekoa bezain garrantzitsua da.

Azken hamarkadetako aurrerapen teknologikoek ahalbidetu dute orain dela gutxi arte ia iristezinak ziren itsas hondoen ikertzea. Itsaspeko iturri hidrotermalak eta haiei loturiko fauna 1977ko urtean aurkitu ziren lehenengoz, Galapago uharteetako itsas hondo abisalera eginiko urpekontzi-espeditzioan [1]. Hartan, zientzialariak liluraturik eta harriturik geratu ziren bertako fauna joria ikusita, iturri hidrotermalen sakonera izugarri handia baitzen eta zerizkien fluidoak pozoitsuak baitziren. Hasiera batean, pentsatu zuten fluido hidrotermalei lotutako elikagai ugarietz elikatzen ziren suspentsiboroak zirela bertako izakiak, baina ondorengo ikerketek bakterio kimiosintetikoetan oinarrituriko ekosistema zela frogatu zuten, denen harridurarako. Hau da, iturri hauek bizidunek erreakzio kimiko hutsen bitartez lortzen dute konposatu organikoak sortzeko behar duten energia. Itsaspeko iturri hidrotermalen eta beren faunaren aurkikuntzatik urte gutxira, hidrokarburo-iturri hotzei loturik zeuden antzeko komunitate biologiko aberatsak kausitu ziren [2], eta hauek ere kimiosintesia zuten oinarri. Itsaspeko iturriak dira, beraz, biziaren oasiak, itsas hondoko basamortuez inguratuak.

Ozeano-hondoetako iturriek gizakiari ere eragiten diote, eta dakartzkion ondorioen artean (zuzenak eta zeharkakoak) kaltegarriak zein onuragarriak daude. Esaterako, kaltegarrienetarikoa izango litzateke egungo klimaldaketan gertatzen ari den berotze globalaren areagotze posiblea, iturrietatik ihes egindako metanoaren negutegi-efektu handia dela eta. Onuragarrienen artean leudeke, besteak beste, ozeanoetako biomasaren handitzea (arrain-biomasaren handitzea tartean). Horretaz gain, onugarriak dira era berean mineral ugarien eratzea eta beste planetetan bizia aurkitzeko analogoak eskaintzea.

Lan honetan, gaur egungo adibideen ikuspuntutik jorratzen dira itsaspeko iturriak. Dena den, mota honetako iturrien aztarnak (egiturak, mineralak eta fosilak) historia geologikoaren erregistro osoan zehar agertzen dira [3], orain dela zenbait mila milioi urteko arroketatik hasi eta gaur egun sedimentuak arte, alegia. Hemen azaltzen dira, lehenik eta behin, itsas hondoko iturri motak eta mota bakoitzaren ezaugarri geologiko nagusiak, ondoren, iturri hauei lotutako komunitate biologikoen ezohiko izaera eta, amaitzeko, ihes egindako fluidoek gizakiei eragiten dizkieten ondorioak.

## **ITSASPEKO ITURRI MOTAK**

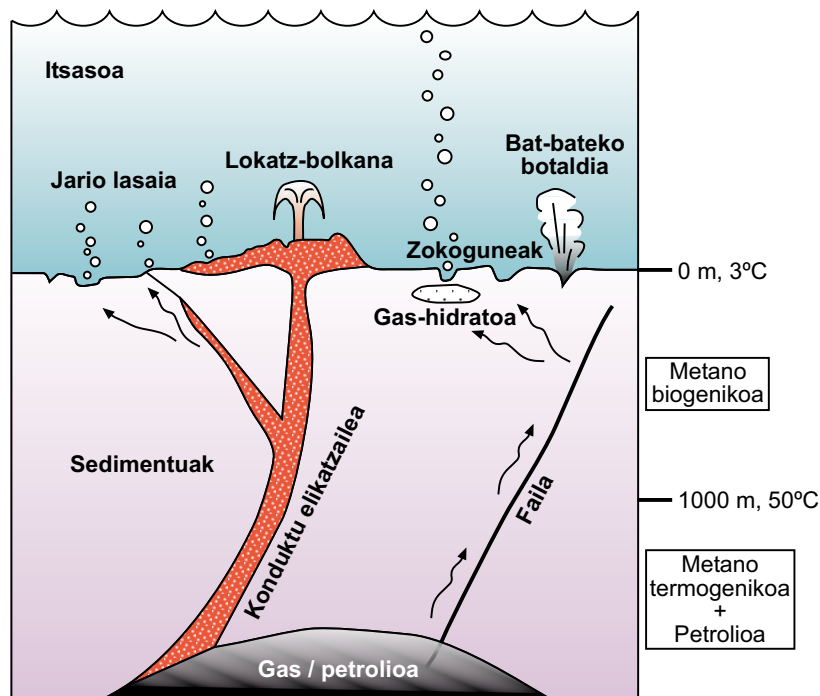
Itsaspeko iturriak lurpetik itsas hondora irteten diren fluido jarioak dira. Hauek itsaspean eta, gehienak, sakonera handitan gertatzen diren fenomenoak izaki, orain dela gutxi arte ia behatu gabe egon dira. Itsaspeko iturrietan hiru mota bereizi ohi dira, darizkien fluido izaeraren arabera (konposaketa eta tenperatura) [4]: ur-iturriak, hidrokarburo-iturri hotzak eta iturri hidrotermalak.

Ur-iturriak ur gezako jario hotzak dira, sakonera txikiko itsas hondotan (kostaldean) izan ohi direnak. Ur honen jatorria kontinenteetako akuiferoak dira, lurpeko baldintza geologikoen eraginda beren ur geza itsas eremuan azaleratzen den ura alegia. Ur-iturriak aspalditik ezagutzen dira. Estrabon, Plinio Zaharra eta Pausanius erromatar geografoen kronikek Mediterraneo itsasoko ur gezako iturrien berri eman zuten, baita inguruko herrien hornidurarako ur gezaren ustia ketaren berri ere.

Hidrokarburo-iturri hotzak edo baita soil-soilik iturri hotzak deritzen hauek, metanoa eta petrolio bezalako hidrokarburoetan aberatsak diren fluido hotzen jarioak dira. Arroken edo sedimentuen poroetan hidrokarburoak daudenean, hauek lur barnetik gorantz migratzeko joera agertzen dute beren flotagarritasuna dela medio; horrela, itsaspeko hondotik uretara irteten dira eta hidrokarburo-iturriak sortzen dituzte (1. Ir.). Antzinatek ezagunak dira hidrokarburo-iturriak, hala lehorrekoak nola itsaspekoak. Ekialde hurbileko berezko galipota biblian aipatzen da Jainkoak Noeri arka nola egin irakasten dion pasartean («barnetik eta kanpotik galipotaz estali»). Kaliforniako indioek berezko asfaltoa erabili ohi zuten beren kanoak iragazgaitzak izan zitezten, beren otarrak estaltzeko, pinturak ekoizteko eta bai txikleak egiteko ere. Azerbaijango eta beste toki batzuetako berezko gas-iturrien «gar itzalezinak» oinarri dira zoroastrismoaren erlijioan. Petrolio eta galipotaren ager-

penak itsasoan ere, aspalditik dokumentaturik daude. Galipot-masa flotagarrri handien agerpenek eraman zituzten erromatarrak Itsas Hilari *Mare Asphalticum* deitzera; antzinako marinelek ere, itsasoko petrolio-orbanak eta galipotez betetako hondartzak ikusi zituzten Suezko Golkoan, Mexikoko Golkoan eta Kaliforniako kostan, besteak beste.

Itsaspeko iturri hidrotermalak itsas hondora irteten diren fluido epel edo beroen jarioak dira. Hauen jatorria tenperatura handiko lurpeko magmarekin (1300°C) zein arroka bolkanikoekin ukipenean egondako itsasoko urak dira (2. Ir.). Itsaspeko iturri hidrotermalak, aurrekoak ez bezala, orain dela gutxi aurkitu dira lehen aldiz, 1977an Galapagos uharteen inguruetan, hain zuzen ere. Itsaspeko iturri hidrotermalak, beraz, aktibitate magmatikoa gertatzen den itsas guneeetan azaltzen dira, nagusiki bizkar ozeanikoen eremuetan.

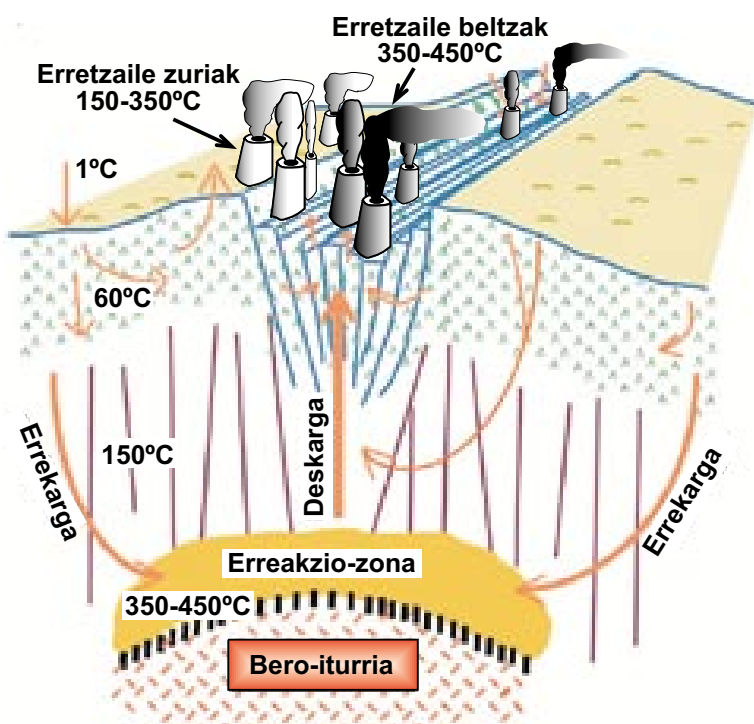


**1. irudia.** Hidrokarburo-iturri hotzetan ohikoak diren egitura geologiko eta jarioak. Eskuinean hidrokarburo ezberdinen eraketarako ohikoak diren baldintzak azaltzen dira.

## HIDROKARBURO-ITURRI HOTZAK

Iturri hotzetan ihes eginiko hidrokarburoek lurpean dute jatorri (1. Ir.). Hidrokarburoak pilatutako sedimentuetan dagoen materia organikoaren

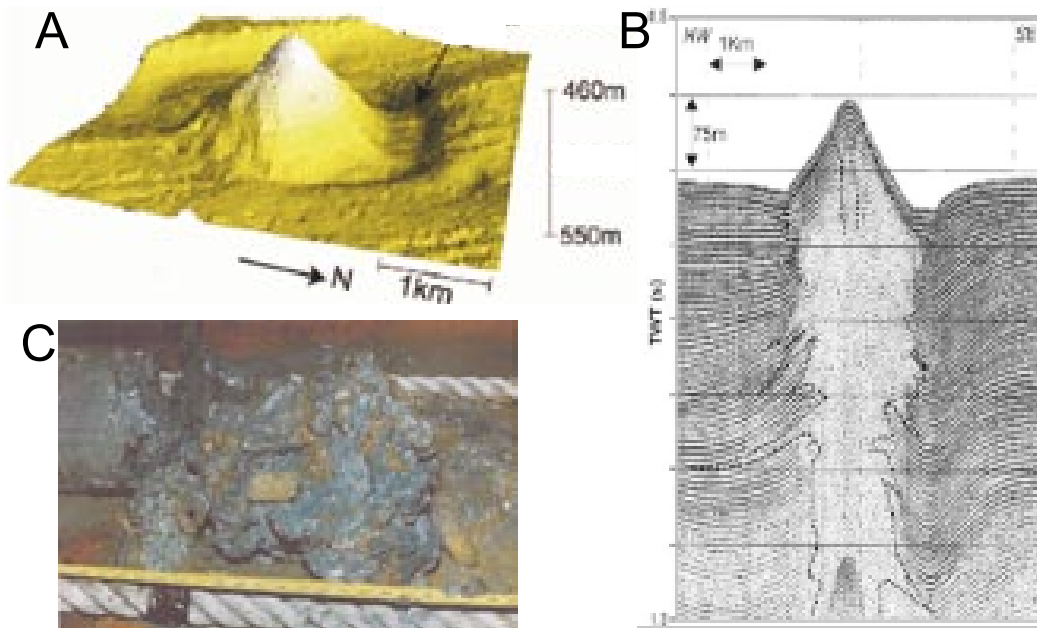
(hau da, izaki bizidunen hondar organikoaren) eraldatzearen ondorioz sortzen dira. Eraldaketa sedimentuetan bizi diren bakterio metanogenikoen bitartez gerta daiteke tenperatura baxua bada, hau da, sedimentuen lurperatzea sakona ez bada (<1000 m), metano ( $\text{CH}_4$ ) biogenikoa sortzen delarik (1. Ir.). Lurperatze sakonago batean,  $50^\circ\text{C}$ -ko tenperatura gainditu egiten dela-eta, ia ez dago bakterio metanogenikorik. Aldiz, 1000-3000 m-ko sakonera eta  $50$ - $100^\circ\text{C}$ -ko tenperatura tartean, materia organikoaren eraldaketa prozesu fisiko-kimikoen bitartez gertatzen da eta sortzen diren hidrokarburoak metano termogenikoa eta petrolioa dira nagusiki (1. Ir.). Beraz, hidrokarburo-iturriak izateko nahitaezko baldintza da itsas sedimentuak materia organikoan aberatsak (> %0,5) izatea. Ezaugarri hau kontinente-ertzetan pilaturiko metakinetan gertatu ohi da nagusiki, hots, plataforma, ezponda eta igoera kontinentalaren eremuetan. Hau dela eta, iturri hotz gehienak 50 eta 3000 m arteko itsasoko sakoneran izan ohi dira.



**2. irudia.** Bizkar ozeanikoetako iturri hidrottermalei loturiko ur-zirkulazioa eta erretzaile zuri eta beltzak. Zenbakiak uraren tenperatura adierazten dute.

Itsaspeko sedimentu eta arroketan dauden hidrokarburoek gorantz migratzeko joera agertzen dute beren flotagarritasuna (dentsitate txikia) dela medio. Askotan, hidrokarburoek gorantz egiten dute sedimentuetan eratu-

tako egitura bertikalez eta okerrez baliatuz; egitura horiek failak, lokatz-bolkanen konduktuak edo diapiroak izan daitezke (1. eta 3.A,B Irk.); beste batzuetan, ordea, hidrokarburoek sedimentua zeharkatzen dute, jarioaren adierazleak diren karbonatozko konduktuak era daitezkeelarik (4. Ir.). Hidrokarburoa metanoa bada, behin sedimentuen goiko aldera iritsita, gas-hidrato modura pila daiteke bertan, baldin eta inguruko presioa edo sakonera eta temperatura egokiak badira (1. Ir.). Gas-hidratoak izotzaren itxurako urez eta metanoz (edo beste gas batez) osatutako masa kristalinoak dira; metano-molekulak atxilo daude hidrogeno-loturak dituzten ur molekulez eratutako kaiola itxurako egituraren baitan (5. Ir.). Naturan, gas hidratoak 400 eta 1500 m arteko sakoneran dauden ur hotzetako ( $\sim 0^{\circ}\text{C}$ ) hondoetako sedimentuen baitan ageri ohi dira. Dena den, nahikoa da uraren sakonera txikiago- tzea (adibidez itsas maila jaistea) edota temperatura igotzea (adibidez aldaketa klimatikoa gertatzea) gas-hidratoak ezegonkortzeko eta bertako metanoa askatu eta uretara (eta atmosferara) sartzeko (5. Ir.).

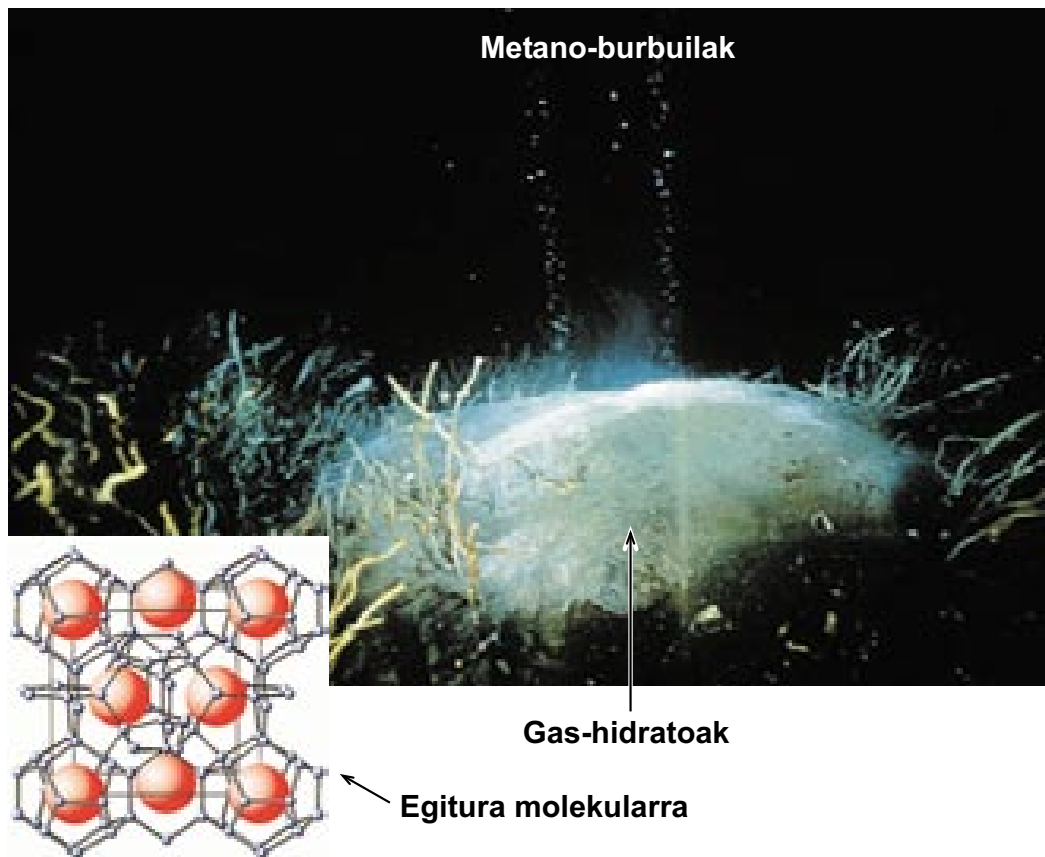


**3. irudia.** Lokatz-bolkanak. A. Cadiz Golkoko Anastasia izeneko lokatz-bolkana [5]. B. Lokatz-bolkan beraren profil sismikoa, lurpeko konduktua erakusten duelarik [5]. C. Lokatz-bolkan baten metakinak, lokatz eta arroka-zatiz osatua.

Lurpeko hidrokarburoak itsas hondotik uretaratzean iturri hotzak sortzen dira. Iturri hauek zenbait elementu fisiografiko tipiko eragin ohi dituzte beren inguruko itsas hondoko eremuetan: zokoguneak, lokatz-bolkanak eta karbonato-muinoak [4]. Elementu fisiografiko hauetako bat aurkitzeak iturri



**4. irudia.** Hodi-itxurako karbonatozko konkrezioak Bulgariako Tertziarioan, orain dela 50 milioi urteko metanoaren goranzko ihesaren adierazleak direnak [4].

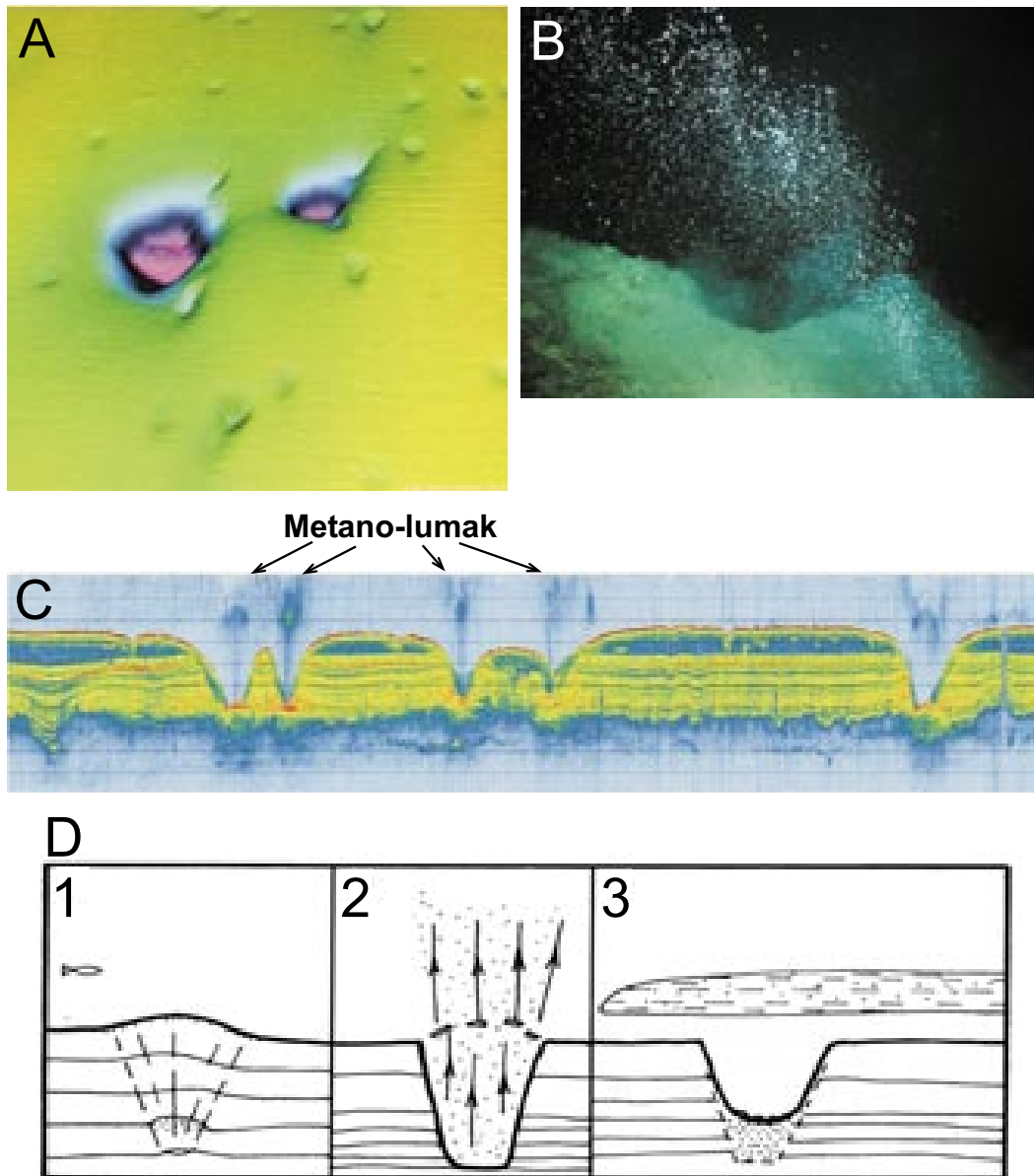


**5. irudia.** Gas-hidratozko masa hodi-zizarez inguratuta, itsas hondo sakon batean. Gas-hidratoen masak metano-burbuilak askatzen ditu egoera ezegonkorrean dagoelako. Irudi txikiak gas-hidratoen egitura molekularra irudikatzen du [4].

hotz bat dagoela (edo zegoela) iradokitzen digu, iturriaren jariorik behatzen ez dugunean ere. Zokoguneak metanoaren jarioaren ondorioz sortzen diren hondoko depresio zirkularrak dira, 1-1000 m-ko diametro eta 0,1-10 m-ko sakonerakoak (6A-C. Ir.). Zenbait kasutan, zokoguneak lerrotuta agertzen dira, eta horrek adierazten du fluidoak lurpeko egitura geologikoren bati (faila edo tolesari) edo hondoko elementu fisiografiko lerrokaren bati (esaterako izozmendien higidurek sakonera txikiko hondoetan eragindako ildoak) jarraiki ihes egin dutela adieraziz. Zokoguneak sedimentuetan gertaturiko gas-pilaketen ondorioak dira [4] (6D. Ir.). Sedimentuaren baitako gas-pilaketa batek goranzko indarra eragiten du, eta indar honek gaintitzen badu gainean duen sedimentuen zama gasaren bat-bateko goranzko ihes indartsua gertatzen da. Ondorioa zera da: gaineko sedimentuaren partikulak harrotu eta esekiduran ipintzen dira, eta bertan depresio bat uzten dute. Harrotutako partikula larrienak laster hon-



doratu eta bertan pausatzen dira, baina finagoak direnek esekiduran denbora gehiago egiten dute eta korronteez beste alde batera garraiatzen dituzte, bertako sedimentu gabeziaren eraginez zokogunea sortzen delarik (6.D Ir.).



**6. irudia.** Zokoguneak eta metano-ihesak. A. Ipar Itsasoko hondoko bi zokogune [4]. B. Zokogune bat eta darion metanoaren (burbuilak) argazkia. C. Ipar Itsasoko hondoko profil sismikoa, non higadurazko zokoguneak eta darizkien metano-lumak ageri diren [4]. D. Zokoguneen eraketa-mekanismoa (1. Gas-pilatzea; 2. Bat-bateko gas-ihesa eta sedimentuaren harrotzea; 3. Partikula finenen garraioa eta zokogunearen sortzea) [4].

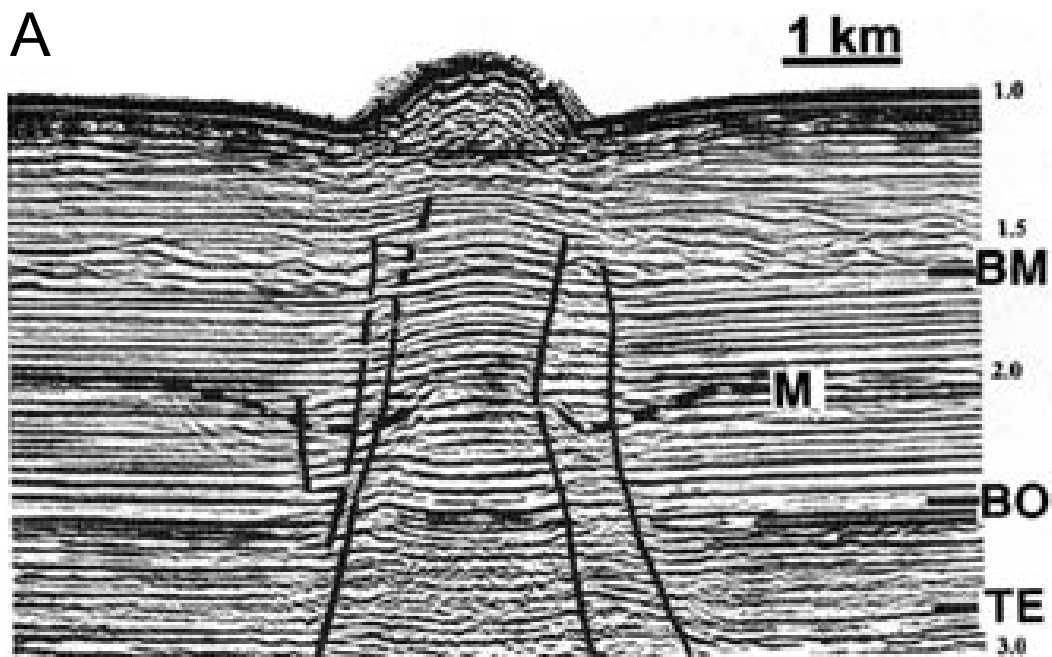
Lokatz-bolkanak basa eta beste osagai sedimentarioz osatutako erliebe positiboko mendi itxurako egiturak dira, aldiro edo etengabe lokatz likidoa, ura, petrolioa edota gasa isurtzen dituztenak (1. eta 3 Ir.). Beren tamaina zenbait zentimetro eta >1 km artekoa da zabaleran, eta zenbait zentimetro eta ehunka metro artekoa garaieran. Lokatz-bolkanak lokatzez eta arroka-zatiz osatutako pilaketak dira, lurpeko dentsitate txikiko unitateen materialak konduktu bertikal batetik gorantz higi eta itsas hondoa isurtzearen ondorioz gertatzen direnak (3. Ir.). Lurpeko materialaren gorantzko abiatzearen arrazoia da, hain zuzen, inguruko beste metakinekin alderatuz duen dentsitate txiki hori, flotagarritasun handia ematen diona, eta gaineko sedimentuak zeharkatuz sedimentuak azaleratu arte gorantz abiarazten duena. Abiatze eta igotze prozesuak lagunduak edo areagotuak izan ohi dira lurpeko unitateak konpresio-indarren menpe badaude, belaki bat estutzean gertatzen den gisan, horregatik lokatz-bolkan gehienak konpresio-eremuetan agertu ohi dira.

Karbonatozko muinoak itsas hondoko iturrietan bertan hauspeatutako karbonatozko pilaketak dira (7. Ir.). Karbonatoen hauspeatzea (kaltzita, aragonito eta dolomita) itsas hondo anoxikoetan (oxigeno gabeetan) kokaturiko iturrietan gertatzen da soilik. Bertan bizi diren bakterioek, iturriei darizkien hidrokarburoen oxidazio anaerobikoaren bitartez, hau da oxigeno librerik erabiltzen ez duen oxidazioaren bidez, inguruaren alkalinitatea igoarazi egiten dute eta, ondorioz, karbonatoen hauspeatzea gertatzen da (ikus kimiosintesiaren atala). Eratutako karbonatozko muino handienak >2 km zabal eta ehunka metro garai izan ahal dira (7. Ir.).

## **ITURRI HIDROTERMALAK**

Itsaspeko iturri hidrotermalak eratzen dira itsasoko ura hondoko zartaduretatik lurperatu eta sakonera txikian dagoen magma beroarekin (~1300°C) ukipenean jartzen denean (2. Ir.). Egoera honetan, berotutako urak gorantz egiten du itsas hondoko iturri hidrotermaletan azaleratu arte. Iturri hauetatik ateratzen diren fluidoaren tenperatura oso aldakorra da tokian tokiko, epelentatik hasi (15°C) eta beroenetaraino helduta (450°C). Iturri hidrotermalak, beraz, sakonera txikiko gorputz magmatikoak dauden gunetan eratzen dira, bizkar ozeanikoak eta bolkanismo handiko arro sedimentarioak izaki gune hauetako arruntenak [6].

Bizkar ozeanikoak itsaspeko mendikate estuak dira (1000-2000 km) eta luzeak (guztira >75000 km), eta ukipenean dauden plaka litosferikoaren arteko muga dibergenteetan garatzen dira. Muga hauetan, elkarrekin ukitzen



**7. irudia.** Karbonatozko muinoak. A. Egungo itsas sakoneko karbonatozko muino baten profil sismikoa, zeinak hidrokarburoen ihesa bideratzen duten failak erakusten dituen. B. Karbonatozko muino fosilak Algeriako Saharan, orain dela 400 milioi urte itsas sakon batean sortuak [4].

dauden plakak urruntzen joaten dira eta sortzen den hutsunea lur sakonetik igotzen den mantuko (astenosfera) arroka bero eta bigunez eta magmaz betetzen da. Magma hau da, hain zuzen ere, lurrazala ozeanikoa eraikitzen duten itsaspeko sumendiak elikatzen dituen. Ukipean dauden plaken higadura dibergentea izaki, bizkar ozeanikoetan estentsio-esfortzuak dira nagusi eta, beraz, faila normalak eta estentsio-arrakalak oso ugariak dira hemen. Faila eta zartadura hauetatik itsasoko ur hotza (0-3°C) lurpeko arroka bolkanikoetan barneratzen da. Magmaren masa beroak eragindako lurpeko tenperatura-gradiente handiak gobernaturik, barneratutako urak beherantz jotzen du, eta gero eta beroagoak eta sakonagoak diren arrokek zeharkatzen ditu, magmarekin ukipenean egon arte (2. Ir.). Ura, bide horretan, etengabe berotzen joaten da, tenperatura handiena (350-450°C) magmarekin ukipenean jartzen denean lortzen delarik. Ur beroak arroka bolkanikoak zeharkatzean disolbatu eta bereganatu egiten ditu arrokek dituzten elementu eta konposatu kimiko asko, hala nola kaltzioa, sulfatoa, magnesioa, sodioa, potasioa, kobrea, zinka, burdina eta metalen sulfuroak. Ondoren, ur beroak gorantz egiten du arroken arrailduretan zehar, eta itsas hondoan dauden iturri hidrotermaletatik ihes egin eta ozeanoko uretan baitaratzen da (2. Ir.). Bizkar ozeanikoetako iturri hidrotermalak, beraz, ur oso beroak (450°C-rainokoak) eta arrunt pozoitsuak dira, aberatsak H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, sulfato (SO<sub>4</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) eta metaletan (Mn, Fe, Zn, Cu, Pb, Co). Iturriei darien ura, konposatu kimikoetan kontzentrazio horren handia duenez, tindatuta bezala agerten da, kearen itxura hartuta (2. Ir.).

Iturri hidrotermaletatik ura atera bezain laster asko hozten da ozeanoko ur hotzetan barneratzean, eta honek jariotako fluidoek konposatu kimikoen hauspeatzea dakar. Hauspeaturiko mineralak etengabe, eta batzuetan oso azkar pilatzen dira iturbegien inguruan, eta ondorioz tximinia itxurako pilaketa bertikalak eratzen dira itsas ohean. Tximinia hauen erdiko konduktutik ihes egiten duten fluidoek ke itxura dute eta, beraz, egitura hauek «erretzaileak» izenez ere ezagunak dira (8. Ir.). Erretzaileen tamaina metro gutxi batzuetakoa ohi da, nahiz eta zenbait kasutan metro askoko garaiera eta diametroa izan ditzaketen. Horren adibidea dugu «Godzilla» tximinia erraldoia, bere 50 m-ko garaierarekin, inoiz behatutako tximinia handiena. Bere garaiera handiak ezegonkorra izatea eta maiz erortzea eragiten du; hala ere, jausi orduko berriz hazi eta berreraikitzen hasten da mineralen hauspeatze oso azkarraren ondorioz (9 m 1,5 urtetan). Bi erretzaile mota daude, beltzak eta zuriak. Erretzaile beltzei darizkien fluidoak tenperatura oso altukoak dira, 300°C eta 450°C artekoak, eta aberatsak metalen sulfuro-partikuletan. Hauek dira jarioen itxura beltzaren eragileak (8.A Ir.). Erretzaile zuriak 150-300°C-ko tenperaturako jarioen ondorioz eratzen dira, eta anhidrita-partikula zurietan aberatsak dira (8.B Ir.).



**8. irudia.** Itsaspeko iturri hidrotermalak bizkar ozeanikoen inguruetan. A. Erretzaile beltzak. B. Erretzaile zuriak.

## BIZIAREN OASIAK

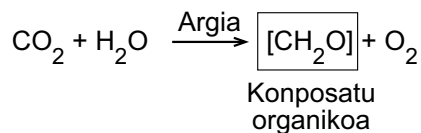
Itsaspeko iturri gehienak, hotzak zein hidrotermalak, sakonera handiko hondoetan daude. Hala ere, iturrietan ikusten diren ezaugarri fisiko, kimiko eta biologikoak eta beren inguruetako hondokoenak hagitx ezberdinak dira. Itsaso sakoneko hondo arruntetan, sakonera eta presioa oso handiak dira (hurrenez hurren 300-4000 m eta 300 at-rainokoa). Bertan, iluntasuna erabatekoa da, izaki luminiszenteen argia eta Cerenkov erradiazioa ( $^{40}\text{K}$ -ren desintegrazio erradioaktiboa) salbu; ura hotza da ( $0-3^{\circ}\text{C}$ ) eta gazitasun normalekoa (34,8g/l). Itsas hondora iristen den janari urri guztia azalean dagoen zona fotikoko ur argitsuetako ekoizpen primariotik eratorria da. Berau, materia organikoko partikula ñimiñoen dago osatuta; partikula hauek izaki bizidunek zenbait alditan birziklatzen dituzte beren hondoranzko jito motelean. Sedimentuen materia organikoaren kantitatea oso txikia da eta %0,1-era ez da iristen. Baldintza hauetan, bertan bizi diren izakiak oso gutxi dira eta sakabatuak daude, biomasa oso urria delarik. Basamortua da.

Itsaspeko iturrietan sakonera, presioa eta iluntasuna inguruko eremueta-koenak bezalatsuak dira, nahiz eta tenperatura askoz handiagoa den iturri hidrotermalen kasuan. Iturriei darizkien fluidoak ere, pozo hutsa dira, sulfuroak, metanoa eta metal ugariak dituztelarik. Harrigarria bada ere, itsaspeko iturrietako muturreko baldintza horietan bizia oso joria da eta badaude inguruan baino askoz izaki bizidun gehiago, estremofiloak deritzenak hain zuzen ere. Bertako biomasa inguruko hondoetakoa baino 10000-100000 aldiz handiagoa da. Zer dute, bada, iturriek, basamortuz inguratutako itsaspeko oasiak izateko? Kimiosintesia da gakoa.

### Kimiosintesia

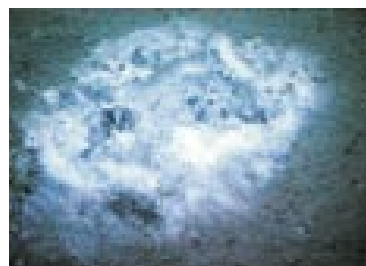
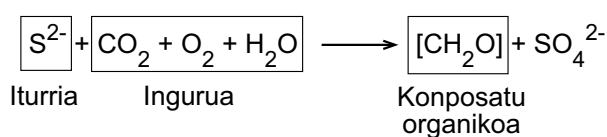
Itsasoko biziaren oinarria fotosintesia da, kate trofikoaren oinarrian dauden ekoizle primarioak fitoplanktona eta alga fotosintetikoak izanik. Fotosintesiak inguruko konposatu inorganikoak konposatu organikoak bihurtzen ditu eguzkiko argiaren energiaren bitartez (9.A Ir.). Aldiz, itsaspeko iturrietan, argiaren ezean, fotosintesiak ez du lekurik. Hemen ekoizle primarioak bakterio kimiosintetikoak dira. Kimiosintesiak energia kimikoa erabiltzen du inguruko konposatu inorganikoak konposatu organikoak bihurtzeko (9.B Ir.). Iturri hotzetako eta hidrotermaletako erreakzio kimiosintetikoaren abiapuntuak ezberdinak dira baina amaierako emaitza antzekoa. Iturri hidrotermalen kasuan, bakterio sulfuro-oxidatzaileek (ad. *Beggiatoa bakterioak*)

## A. FOTOSINTESIA



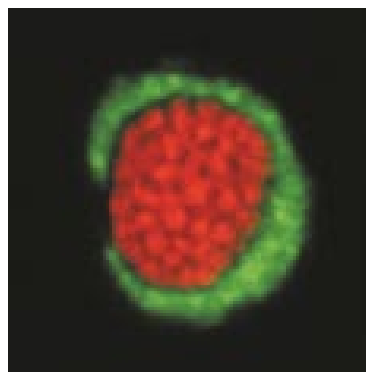
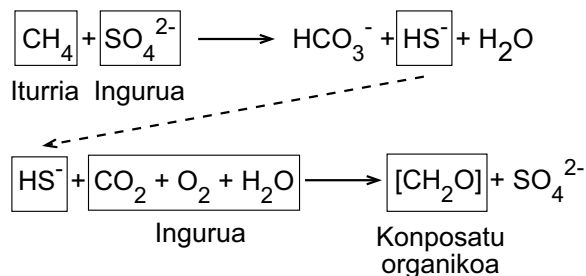
## B. KIMIOSINTESIA

### ITURRI HIDROTERMALETAN



*Beggiatoa* sp. bakterio sulfuro-oxidatzailearen kolonia bat itsas hondoan

### ITURRI HOTZETAN



Bakterio metano-oxidatzaileak (gorriz) eta sulfato-erreduzitzaileen (berdez) artean osaturiko partzuergoa [4].

**9. irudia.** Biziazen oinarriak, fotosintesia eta kimiosintesia. A. Fotosintesiaren erreakzio kimiko nagusia. B. Kimiosintesiaren erreakzio kimiko nagusiak itsaspeko iturri hidrotermaletan eta iturri hotzetan, eta bertan parte hartzen duten zenbait bakterioen argazkiak.

iturriari darizkien sulfuroak ( $\text{S}^{2-}$  eta berarekin zerikusia duten  $\text{SH}_2$  eta  $\text{SH}^-$ ) oxidatzen dituzte ozeanoko uretako karbono dioxido, oxigeno eta urarekin erreakzionaraziz. Erreakzio honen emaitza konposatu organikoen sor-

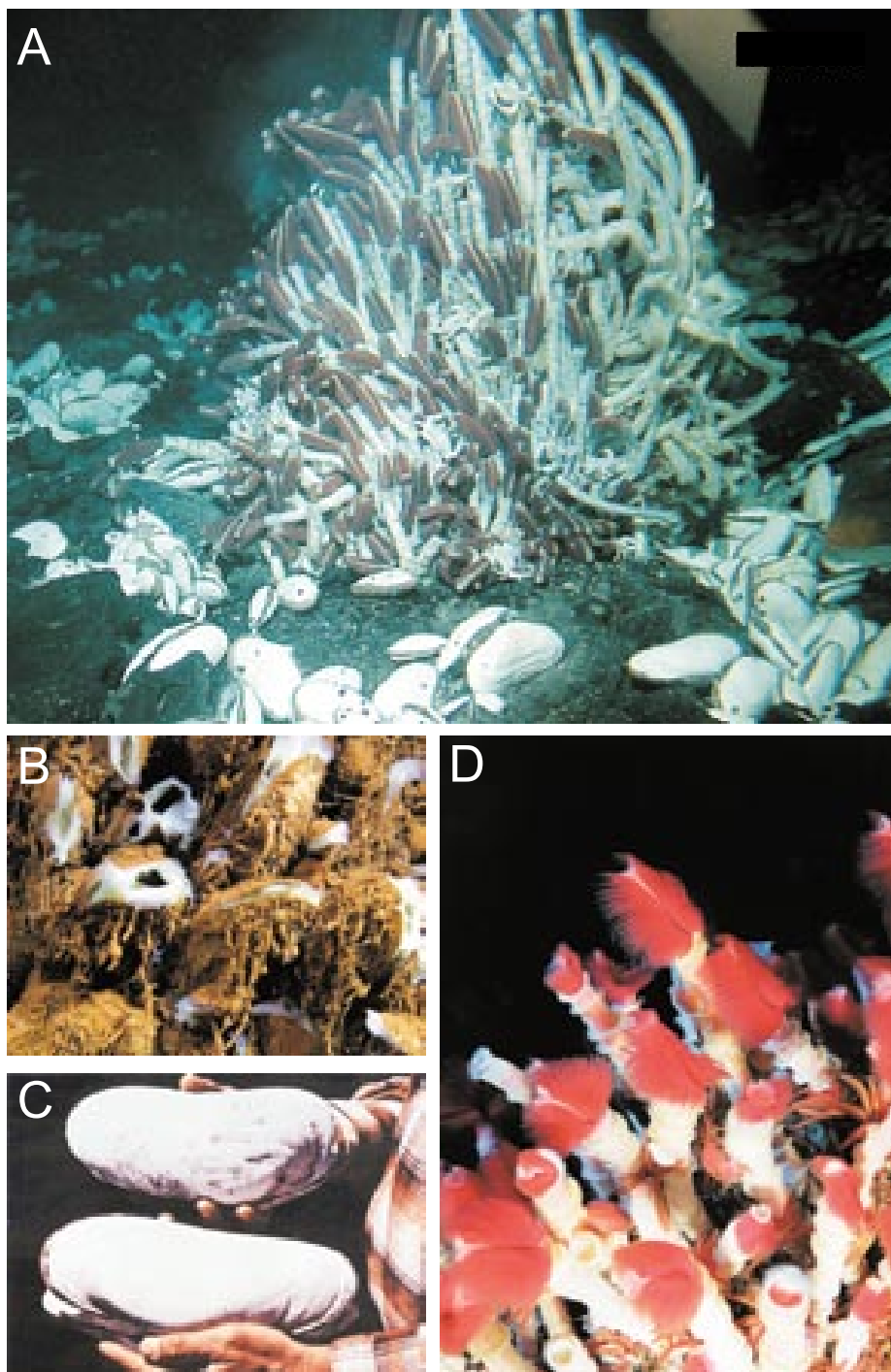
tzea da (9.B Ir.). Iturri hotzen kasuan, kimiosintesia zerbait konplexuagoa da, metanoaren (edo beste hidrokarburoen) oxidazio anaerobiko (MOA) prozesuaren bitartez gertatzen dena [4] (9.B Ir.). MOA-a bakterio metano-oxidatzaile eta bakterio sulfato-erreduzitzaileen arteko partzuergo batek gauzatzen du (9.B Ir.). Partzuergo honek iturriko metanoa oxidatzen du (bakterio metanotrofikoak), baina ez oxigeno librearen bitartez (ingurua anoxikoa baita) itsasoko urek duten sulfatoa erreduzituz baizik (bakterio sulfato-erreduzitzaileak). MOA-ren erreakzioaren ondorioz ingurumenaren alkalinitasuna asko hazten da eta karbonato-mineralak (kaltzita, aragonito eta dolomita) hauspeatu egiten dira. Erreakzioaren beste produktu bat sulfuroa da. Honek sedimentuetako burdinarekin erreakzionatzen du, eta piritita botroidala (FeS) hauspeatzen da; erreakzionatu gabe gelditzen den sulfuroa bakterio sulfuro-oxidatzaileek konposatu organikoak ekoizteko profitatzen dute, iturri hidrotermaletan gertatzen den gisan (9.B Ir.).

## **Bakterio kimiosintetikoak eta animaliak sinbiosian**

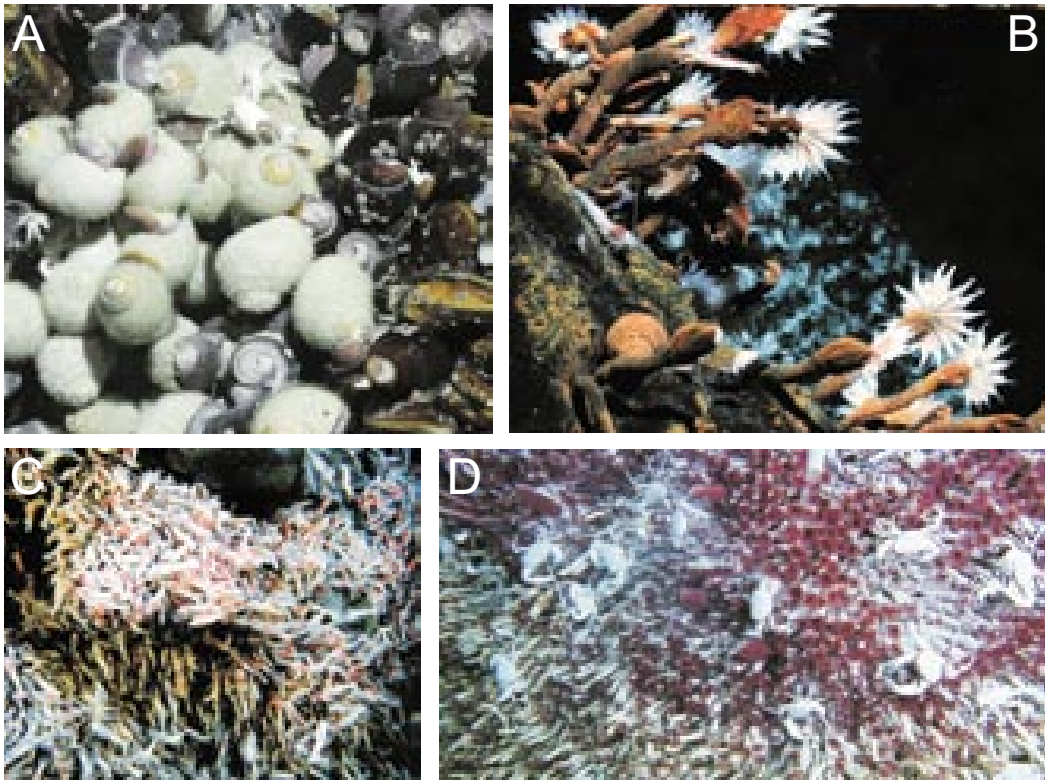
Mikroorganismo kimiosintetiko eta makroornogabeen arteko sinbiosi anitz arrakastatsua da itsaspeko iturrien ezaugarritako bat [6]. Makroornogabe sinbionte ugarietarikoak bibalbioak eta hodi-zizareak dira; haien espezie batzuk erraldoiak [6,7] (10. Ir.). Azpimarratzekoak dira era berean, makroorganismoek beren baitan bakterio sinbionteak hartzeko dituzten hainbat egokitzapen anatomiko, fisiologiko eta biokimiko. Bibalbio eta hodi-zizareek bere baitako bakterioek behar dituzten konposatu inorganikoez hornitzeko, batetik, ponpatu egiten dute lurpean dagoen sulfuroa eta, bestetik, bereganatu egiten dituzte itsasoko uretan dauden eta behar dituzten osagaiak (oxigenoa, karbono dioxidoa eta ura). Trukean, makroornogabeak beren barneko bakterio kimiosintetikoek ekoizten dituzten konposatu organikoez elikatzen dira, hau izanik beren elikadurarako duten bide bakarra.

Itsaspeko iturrietako ekosisteman, kimiosintesian oinarritutako biomasa handiak erakarrira, iturrien eremuetatik at «arruntak» diren izakiek ere bertara jotzen dute, eta oso ugariak izatera hel daitezke. Haien artean, karramarroak, izkirak, lanpernak, gastropodoak, belakiak eta olagarroak dira ohikoenetarikoak [6,7] (11. Ir.).





**10. irudia.** Itsaspeko iturrietan bakterio kimiosintetikoekin batera sinbiosian bizi diren bibalbio eta hodi-zizareak. A. Kuxin-laben gainean bizi diren hodi-zizare erraldoien (*Riftia*) kolonia bat eta bibalbio (*Calyptogena*) erraldoiak bere inguruan. B. Bibalbioen kolonia [7]. C. *Calyptogena* bibalbio erraldoiak. D. Hodi-zizareen goialdeen argazkia, bertan hodiak (zuriak) eta hemoglobinaz kargaturiko lumak (gorriak) azaltzen dira [7].



**11. irudia.** Itsaspeko iturrietan bizi diren zenbait izaki ez-kimiosintetikoaren argazkiak. A. Gastropodoak. B. Lanpernak [7]. C. Izkira itsuen saldoa [7]. D. Karamarro zuriak hodi-zizareen kolonia baten gainean.

## ERAGINAK GIZAKIARENGAN

Itsaspeko iturriek inguruko ezaugarri fisiko, kimiko eta biologikoetan eragiten dituzten aldaketek gizakiari ere arlo askotan eragiten diote, zeharka bada ere. Eraginen artean batzuk kaltegarriak eta beste batzuk onuragarriak suertatzen dira [4].

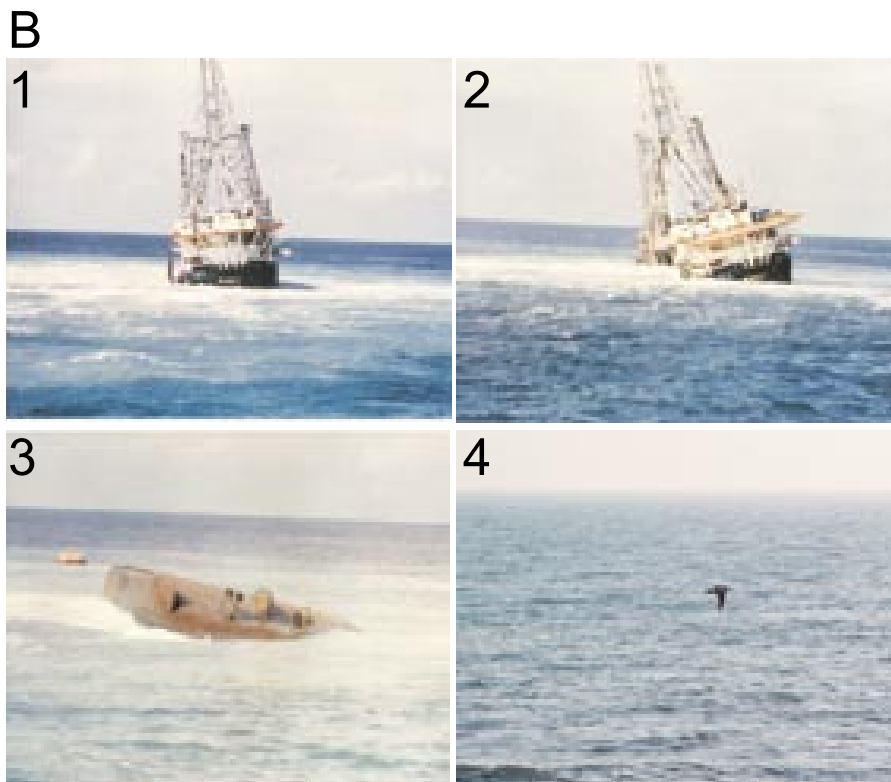
### Eragin kaltegarriak

- Itsas hondoko ezegonkortasuna. Itsaspeko iturriek lotutako gas-pilaketek, gas-ihesek eta lokatz-bolkanek hondorean ezegonkortasuna eta maldan beherako lubizak eragin ditzakete. Beraz, hondo hauetan ainguratuta dauden egituren oinarriek, petrolio- eta gas-plataformenak, esaterako, mugitzeko eta erortzeko arriskua dute.

- Bat-bateko gas-botaldiak. Itsasoko sedimentuetan pilaturiko gas kantitate handien bat-bateko ihesek itsas hondoko zokoguneen eratzea dakarte eta, honekin batera, bertan ainguratuta egon daitezkeen egituren ezegonkortzea eta hondoratzea (12.A Ir.). Ihes egindako metano sukoia ere arriskutsa izan daiteke. Honek berez su har dezake airearekin ukipenean jartzean.
- Flotagarritasun-galera. Gas-botaldi bat suertatzen denean, gas-burbuila sarri eta handiak heltzen dira ur-azaleraino. Une horretan, itsas azaleko ur eta gas nahasketaren dentsitate txikiak eraginda, flotagarritasun-galera handia gertatzen da, eta bertan egon daitezkeen itsasontzien hondorapena (12.B Ir.).
- Negutegi-efektua. Metanoaren negutegi-efektua 30 aldiz handiagoa da karbono dioxidoarena baino. Itsasoko sedimentuetan sortzen den metano gehiena (%90a) bakterioek kontsumitzen dute MOA-aren birtartez atmosferara iritsi baino lehen. Beraz, bakterioek eragindako metanoaren oxidazio anaerobikoa klimaren erregulatzailea da. Sedimentuetan dagoen metano kantitate handiaren zati handi batek ihes egingo balu negutegi-efektua eragin eta Lurraren klimaren berotzearen areagotzea ekarriko luke.

## **Eragin onuragarriak**

- Mineral ugari. Iturri hidrotermaletan mineral asko eta kantitate handitan hauspeatu ohi dira, hauen artean burdin sulfuroak (pirita eta beste) ugariak izanik (13.A Ir.). Iturri hidrotermaletan eratzen diren mineral hauek dira gizakiak kantitate handienetan ustiatzen dituenetarikoak.
- Energia hidrotermala. Zenbait herrialdetan iturri hidrotermaletako ur beroak baliatzen dira, bai energia elektrikoa sortzeko bai etxeei ur beroa hornitzeko (13.B Ir.).
- Gas- eta petrolio-hobien antzematea. Hidrokarburo-iturri hotzak lurpeko gas edo petrolioaren adierazle dira. Dena den, lurpean hidrokarburoak egoteak ez du esan nahi fluido horiek ustiagarriak direnik (edo ekonomikoki errentagarriak); izan ere, beste ezaugarri batzuk ere kontuan hartu behar izaten dira, esaterako hidrokarburoen kantitatea, kalitatea, sakonera, eta abar.



**12. irudia.** Itsaspeko iturrien eragin kaltegarriak gizakiarengan. A. Norbegiar Itsasoaren hondotik (240 m sakon) irtendako metanozko bat-bateko botaldia petrolio-plataforma baten ondoan, honen okertzea eragin zuena. B. Itsasontzi ozeanografiko japoniar baten azpian izandako metanozko bat-bateko botaldiak eragindako itsasontziaren flotagarritasun-galera eta honen ondorioak. Lau etapako (1-4) prozesu honek itsasontziaren (eskifaia barne) hondorapena ekarri zuen azkenik.



**13. irudia.** Itsaspeko iturrien eragin onuragarriak gizakiarengan. A. Rio Tintoko meatze erraldoia, bertan iturri hidrotermaletan eratutako mineralak ustiatzen dira, nagusiki pirita (behe eskuinean). B. Islandiako Blue Lagoon, iturri hidrotermaletako ur beroa erabiliz energia elektrikoa ekoizten dute bertan.

- Produktibitate biologikoaren handitzea. Esperimentalki frogatuta dago hidrokarburoen ihesek itsasoetako produktibitate biologikoaren handitzea dakartela. Ternua eta Ipar Itsasoa bezalako tokien arrantza-aberastasuna eta produktibitatea, esaterako, bertan dauden hidrokarburo-iturri ugariekin uztartu da [4].
- Bizia Lurretik landa. Azken urteetan areagotu dira Lurretik kanpo bizia edota biziaren aztarnak (biziaren jarduerak eragindako egiturak eta mineralak) aurkitzeko ahaleginak. Hasieran uste zuten bizi estralurtarrak izaera fotosintetikoa izango zuela baina azken urteotan lurpeko forma kimiosintetikoaren alde egin da apustua, eta oso litekeena da bizi estralurtarraren formak Lur planetako iturri hidrotermalei lotutako bakterio extremofiloen antzekoa izatea. Horrela, Lurreko sistema hidrotermalak, bertan bizi diren extremofioloak eta hauek eragindako egiturak eta mineralak beste planetetako analogoak izan litezke. Hau dela-eta, azken urteotan, Astrobiologoen interesa handia agertu dute gure planetako sistema hidrotermalen inguruan, eta honen adierazgarri garbia da gaia jorratzen duten ikerketen eta argitalpenen kopuruaren hazkuntza esponentziala.

## **ESKERRONAK**

Lan hau Euskal Herriko Unibertsitatearen (EHU06/62 eta UNESCO06/03 proiektuak) eta Ministerio de Educación y Cienciaren (CGL2006-05491/BTE proiektua) diru-laguntzekin burutu da. Eskerrak ere Juan Carlos Odriozolari eginiko hizkuntz zuzenketengatik.

## **ERREFERENTZIAK**

- [1] LONSDALE, P. (1977): Clustering of suspension-feeding macrobenthos near abyssal hydrothermal vents at oceanic spreading centers. *Deep-Sea Research* 24, 857-863.
- [2] PAULL, C.K., HECKER, B. eta COMMEAU, R. (1984): Biological communities at the Florida escarpment resemble hydrothermal vent taxa. *Science* 226, 965-267.
- [3] CAMPBELL, K.A. (2006): Hydrocarbon seep and hydrothermal vent paleoenvironments and paleontology: Past developments and future research directions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 232, 362-407.

- [4] JUDD, A.G. eta HOVLAND, M. (2007): Seabed Fluid Flow: The Impact on Geology, Biology and the Marine Environment. Cambridge University Press, Cambridge, 475 or.
- [5] SOMOZA, L., DÍAZ-DEL-RÍO, V., LEÓN, R. et al. (2003): Seabed morphology and hydrocarbon seepage in the Gulf of Cadiz mud volcano area: acoustic imagery, multibeam and ultra-high resolution seismic data. *Marine Geology*, 195, 152-176.
- [6] VAN DOVER, C.L. (2000): The ecology of deep-sea hydrothermal vents. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 424 or.
- [7] NOUVIAN, C. (2007): Criaturas abisales. La Esfera de los Libros, Madrid, 252 or.