

Basalto-plataformak: ezaugarriak, jatorria eta kontinenteen apurketa, eta suntsipen biologiko orokorrekin izan ditzaketan loturak

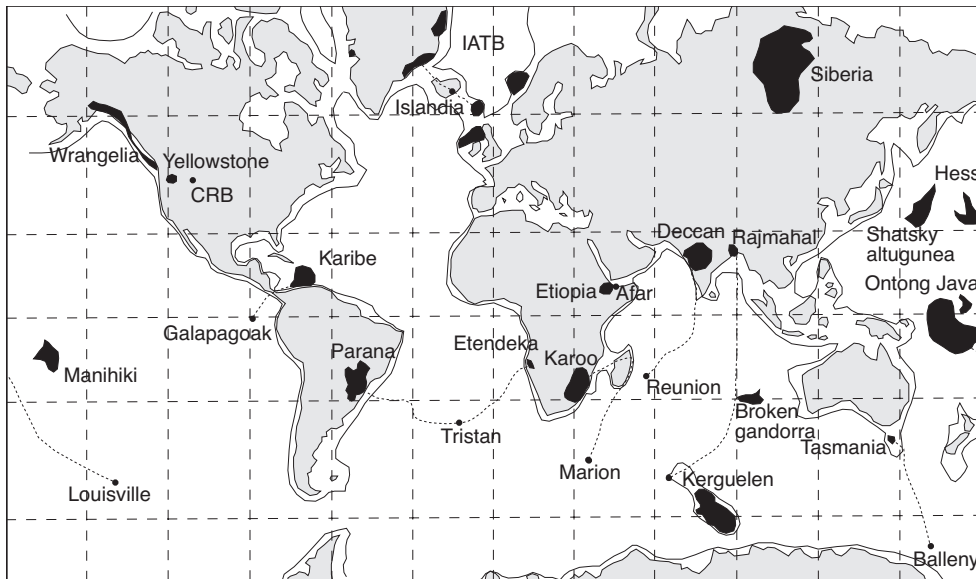
*Mirari Elosegi
Arturo Apraiz*

Geodinamika saila
Euskal Herriko Unibertsitatea/Zientzi Fakultatea
P.K. 644, 48080 BILBO

Laburpena: Basalto-plataformak egitura geologiko arras arruntak dira, basalto-kolada bakunen pilaketaz osatuta daude eta egitura zein konposizio zeharo homogenea erakusten dute. Agian, milioi bat kilometro kubikotik gorako bolumena izatea eta magmaren gehiengoa oso epe laburrean (< 1 Mu) azaleratzea dira basalto-plataformen ezaugarriarik deigarrienak. Nahiz eta orain arte erupzio bolkaniko izugarri hauen zergatiak eta ondorioak garbi ez egon, gero eta ugariagoak dira plaka tektonikarekin eta Lur-mailako suntsipen biologiko orokorrekin nolabaiteko lotura erakusten dutela erakusten dituzten datuak. Lanaren hasieran, geologikoki bat-batekotzat har daitezkeen, erupzio hauen egitura eta ezaugarri petrologiko zein geokimikoak deskribatuko dira. Ondoren, basalto-plataformen sorrera prozesuen inguruan egun gailentzen ari diren bi ereduak deskribatuko dira, eta kontinenteen apurketa prozesuekin eta adin ezberdinetan izandako suntsipen biologiko orokorrekin erlazionatzen dituzten datuak aipatuko dira.

1. SARRERA

Basalto-plataformak historia geologikoan ezagutu diren sumendi-erupzio handienak dira. Bata bestearen gainean, milioika urtetan edo epe laburragoan metatutako basalto-kolada ezberdinez osatutako milioi bat kilometro kubikotik gorako bolumena duten gorputzak dira [1,2]. Lurra-
ren bilakaeran ezagunak dira Proterozoiko eta Fanerozoikoan zehar, eta Arkear garaiko «Arroka Berdeko Gerrikoen» erantzuleak izan daitezkeela uste da.



1. irudia. Kontinenteko eta ozeanoko basalto-plataformen kokapen geografikoa. Puntu-marrek basalto-plataformen eta aktiboak diren puntu beroen balizko erlazioa erakusten dute [2].

Basalto-plataformak, lurralde igneo erraldoiak (Large Igneous Provinces, LIP) bezala ere ezagunak, eremu kontinental zein ozeanikoetan gara daitezke (1. Ird.). Azkeneko 2-3 hamarkadetan eztabaida sutua izan da egitura hauen jatorriari buruz, egun oraindino bukatu ez dena [1,2,3,4,5,6]. Gaur egun, bi dira nagusitzen ari diren ereduak: alde batetik basalto-plataformak mantuko luma gorakorrek lotzen dutenak daude [2,7] eta bestetik, fenomeno azaltzeko litosferaren azpiko mantuan gertatzen diren prozesuak baino erabiltzen ez dutenak daude [1,8,9]. Basalto-plataformen jatorria bata edo bestea izan, mundu osoan garai ezberdinetan agertzen dira egitura hauek (2. Ird.) eta, historia geologikoan garrantzitsuak izan diren beste zenbait prozesuekin ere lotzen dira, hala nola, superkontinenteen apurketarekin eta suntsipen orokorreko garaiekin.

Ondoren, basalto-plataforma kontinentalei buruz hitz egingo da batez ere, uraren gaintik daudenez, beraietan burutu diren ikerketak askoz zehatzagoak direlako eta ondorioz beraien gaineko ezagupen maila handiagoa delako. 2. irudian basalto-plataforma kontinental nagusien adinak eta batz besteko neurriak adierazten dira. Lehendabizi, basalto-plataformen ezaugarri geologikoak definituko dira, hau da, egitura, petrografia eta ezaugarri geokimikoak; ondoren beraien jatorria azaltzeko egun erabiltzen diren bi eredu nagusiak deskribatuko dira; bukatzeko, egitura hauek superkontinenteen apurketa prozesuekin eta suntsipen orokorrekin dituzten balizko loturak aipatuko dira.

Basalto-plataformak: ezaugarriak, jatorria eta kontinenteen apurketa...

Basalto-plataformak eta lurralde igneoak	Adinak	Gaur eguneko azalera	Balizko jatorrizko azalera	Lodiera maximoak	Bolumena
Etiopiako plataforma	31±1 Oligozenoa	800.000 km ²	1.000.000 km ²	?	0.75 × 10 ⁶ km ³
Ipar Atlantiarreko lurralde igneoak	55±1 Goi-Paleozenoa			700 m	6 × 10 ⁶ km ³
Deccan	66±1 Goi Kret.-Tertz.	510.000 km ²	>2.000.000 km ²	2.500 m	2 × 10 ⁶ km ³
Karibe-Kolonbia	89.5±0.3 Goi Kret.-Tertz.				4 × 10 ⁶ km ³
Parana-Etendeka	133±1 Goi Jur-Behe Kret	1.000.000 km ²	1.500.000 km ²	1.800 m	2.35 × 10 ⁶ km ³
Antartika	180±7 Jurasikoa	7.800 km ²	12.000 km ²	900 m	
Karaoo-Ferrar	183±1 Jurasikoa	200.000 km ²	400.000 km ²	9.000 m	2.5 × 10 ⁶ km ³
Erdialdeko lurralde Atlantiko magmatikoa (CAMP)	201±1 Jurasikoa		7.000.000 km ²		2 × 10 ⁶ km ³
Siberiako plataforma	249±1 Perm-Trias.	1.500.000 km ²	>2.000.000 km ²	3.500 m	4 × 10 ⁶ km ³
Emeishaneko plataforma	258±1 Goi-Permiarra	330.000 km ²		5.000 m	0.6 × 10 ⁶ km ³

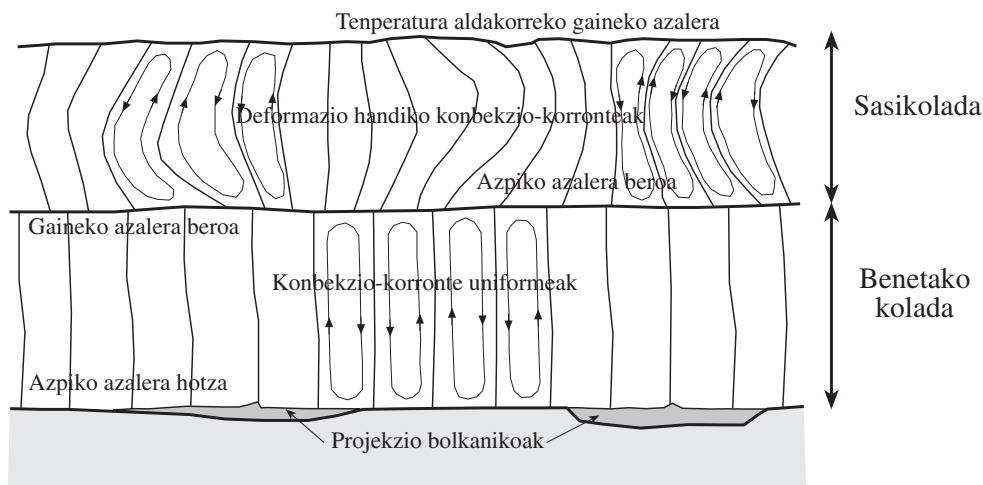
2. irudia. Basalto-plataforma kontinental nagusien adin eta dimentsioak.

2. BASALTO-PLATAFORMEN EZAUGARRI GEOLOGIKOAK

2.1. Egitura

Basalto-plataformak zenbait kilometroko lodiera izan dezaketen metro gutxiko laba-kolada bakunak gainezartzearen ondorioz eratu dira. Laba-koladen gainazaleko ehunduraren arabera gainazal leun eta kaotikoko koladak bereizten dira. Gainazal leunak kolada trinkoen ondorio izaten dira («pahoehoe» labak) eta hauek pairatzen duten desgazifikazio motelagatik bakuola eta albeolo gutxi izaten dituzte. Gainazal kaotikoak trinkoak ez diren laben adierazgarri dira («aa» labak) eta hauetan bakuola ugari agertzen dira, desgazifikazioa zaila izan dela seinale.

Basalto-plataforma kontinental guztietan nahiko erregularrak diren prisma itxurako zutabe bertikalak agertzen dira, hexagonalak edo pentagonalak



3. irudia. Kolada basaltiko bakunen hozketa prozesua eta benetako koladen eta sasikoladen arteko ezberdintasunak.

izan daitezke. Koladen hozketarekin batera eratzen diren zutabe hauek zutabe-disjuntzioa deritzon prozesuaren bitartez sorzen dira. Zutabeak koladaren gaineko eta azpiko azalen hozketak gidatutako konbekzio-zelula anitzen eraginez sortzen dira. Hala, kolada lodienetan bi eremu bereiz daitezke: benetako kolada esaten zaiona beheko aldean, hozketa erregularra jasan duenez ondo eratutako prismak dituen eta sasikolada gaineko aldean (3. Ird.). Kasu honetan, hozketa kanpoko baldintza aldakorren eraginean dagoenez ez da erregularra eta prismak ez dira horren perfektuak izango, nahiz eta beti goiko gainazalarekiko elkarzut egon.

Basalto-plataformekin erlazionaturiko egitura garrantzitsua hauen azpitik hedatzen dena da, hau da, koladen elikadura egingo lukeen dike eta sill sare erradial erraldoia (giant dike swarm) hain zuzen ere. Ehunka kilometrotik gorako hedadura izaten dute eta dezimetro baten eta zenbait dekametroren arteko lodierako dikez osatuta daude [10,11].

2.2. Petrografia

Toki gehienetan olibinodun toleitak dira basalto-plataformetako arroka igneo arruntenak [12]. Paranáko (Brasil) basaltoetan adibidez ehundura hedatuena afirikoa da. Hala ere, fenokristal gutxi batzuk ere azaltzen dira, baina beti arrokaaren %25 baino gutxiago izanik. Plagioklasak (An_{83-50}), piroxenoak (augita eta pigeonita), mineral opakoak (titano-magnetita, ilmenita) eta oso gutxitan olibinoa izaten dira fenokristal moduan agertzen diren mineralak.

Aurki daitezke era berean magmaren desberdintzetik sortutako beste zenbait, hala nola, basalto andesitikoak, andesitak, dazitak edo erriolitak; honelakoak ez dira kopuru garrantzitsuan aurkitzen eta beti sekuentziaren goiko aldean pilatzen dira. Trantsiziozko produktuak urriak dira edo ez dira agertu ere egiten, baina adibidez Deccaneko (India) eskualdean arroka alkalinoak ikus daitezke, eta esan beharra dago azken arroka hauek garrantzi handia daukatela Etiopiako eta Ipar Atlantikoko basalto-plataformetan.

2.3. Geokimika

Basalto-plataformetako arroka bolkanikoak segida toleitikotik hurbil geratzen diren trantsiziozko basaltoak edo basalto toleitikoak dira. Azterketa kimikoez agertzen dute silizearen edukiera sarritan %50-52 ingurukoa dela, gandorretako basaltoen antzekoa beraz. Beste osagai nagusiak aztertuz, ikus daiteke basalto-plataformetako kontinenteko toleitak ozeanoaren erdiko gandorren basaltoetatik (MORB) zein irla ozeanikoetakoetatik (OIB) hurbil daudela (4. Ird.). Laba hauek ez dira jatorrizko likido basaltikoaren seinale, hau da, ez dira mantuko materialen fusio partzial zuzenetik sortu. Magnesioan aberatsagoak diren (pikritak) jatorrizko basaltoen kristaltze frakzionatuaren bidez sortutako desberdintzetik eratorritako hondar likidoak dira.

	LTi	LTi	LTi	HTi	HTi	HTi	HTi	MORB	OIB
	1	2	3	4	5	6	7		
SiO ₂	48,74	49,29	50,15	51,24	48,68	50,57	46,92	50,40	46,46
TiO ₂	1,43	1,77	1,58	3,32	3,17	3,07	4,62	1,36	3,01
Al ₂ O ₃	15,23	13,97	15,90	14,85	13,52	14,79	11,49	15,19	14,64
Fe ₂ O _{3t}	13,67	13,98	11,90	11,60	15,15	11,28	14,07	11,11	13,38
MnO	0,21	0,23	0,19	0,16	0,28	0,16	0,19	0,18	0,14
MgO	5,95	6,33	6,42	5,33	5,77	4,48	7,05	8,96	8,19
CaO	10,13	11,76	11,53	8,03	10,05	9,28	10,35	11,43	10,33
Na ₂ O	2,27	2,35	2,61	3,02	2,74	2,88	2,46	2,30	2,92
K ₂ O	0,40	0,11	0,27	1,72	0,28	1,02	0,77	0,09	0,84
P ₂ O ₅	0,18	0,21	0,17	0,50	0,36	0,37	0,51	0,14	0,37
H ₂ O+	2,58	—	0,19	0,63	—	0,83	1,56	—	—
H ₂ O-	—	—	0,34	—	—	0,58	0,38	—	—
Guztira	100,79	100,00	101,25	100,14	100,00	99,31	99,21	101,16	100,28

4. irudia. Basalto-plataformen analisi kimiko adierazgarriak. LTi, TiO₂-n txiritutako basaltoak; HTi, TiO₂-n aberastutako basaltoak; MORB, ozeanoen erdiko gandorretatik isuritako basaltoak; OIB, irla ozeanikoetako basaltoak.

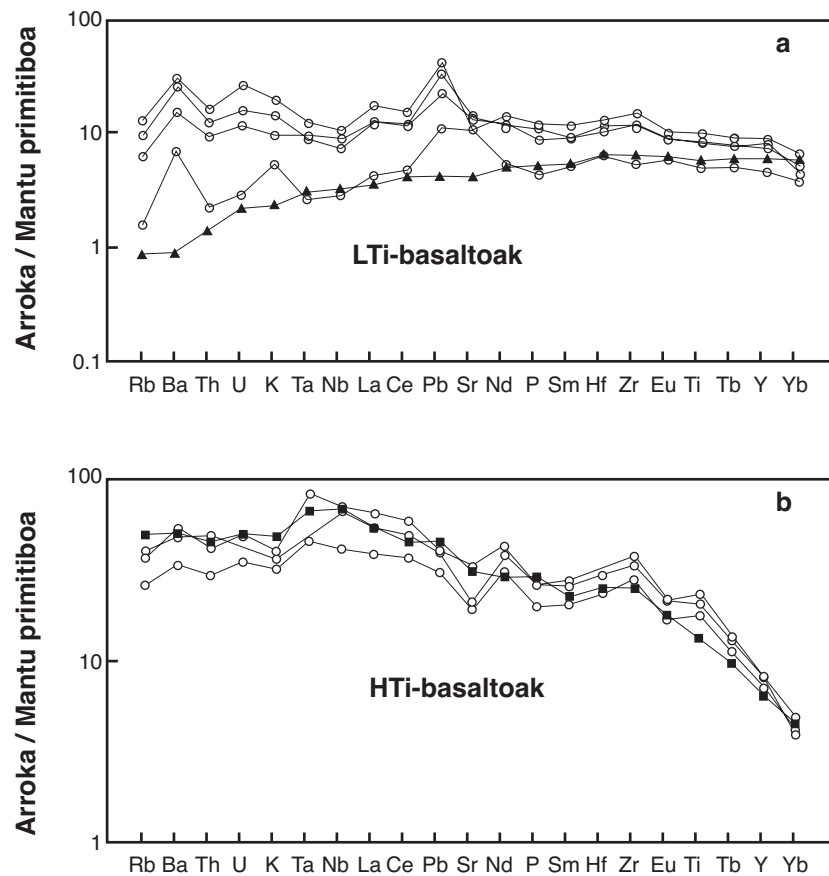
Paranáko basalto-plataforman bi basalto mota ezberdinu dira: TiO_2 -an txiroak direnak (LTi bezala izendatuko ditugunak) eta TiO_2 -an aberatsak direnak (HTi bezala ezagunak). Karoo, Deccan, Siberia edo Etiopiako basalto-plataformetan ere definitu ahal izan dira bi konposizioko basalto hauek.

Basalto-plataformetako bi basalto mota hauen arteko konposizio ezberdintasunak, osagai kimiko nagusietan, 4. irudiko taulan adierazi dira. Ezberdintasun adierazgarrienak TiO_2 , P_2O_5 eta K_2O osagaietan daude. TiO_2 %1-2 artekoa da LTi -an eta %2.5-4 artekoa HTi-an. P_2O_5 %0.5 baino urriagoa da LTi -an eta aldiz HTi-an %0.4 baino gehiago dago. Azkenik, HTi-an K_2O kantitatea %1 baino handiagoa da. Gainera, Lti-basaltoek normalean silize gehiago daukate Hti-basaltoek baino.

Lti-basaltoek gandor ozeanikoetako basaltoetatik (MORB) hurbil daude ikuspegi kimikotik. Beraien arteko ezberdintasunak urriak dira, LTi basaltoek jatorri frakzionatuagoa izan ohi dute, elementu bateraezinetan aberatsagoak dira eta elementu aztarnen portzentaia ezberdinak ere izaten dituzte. 5. irudian Etiopiako plataforman analizatutako hiru LTi basaltoen elementu urrien diagramak adierazten dira. Bertan, LTi basaltoek soslai horizontalak dituztela ikus daiteke, inkompatibilitate gehieneko elementuen (Rb, Ba, Th, U, K...) eta inkompatibilitate gutxienekoen (Ti, Tb, Y, Yb) arteko portzentaia berdintsuak direlarik. MORB-ek antzeko soslaiak izaten dituzte. Hala ere, irudian ikusten den bezala LTi basaltoetan bateraezintasun gehieneko elementuak ugariagoak dira (Ba, U, K, Pb). Gandor ozeanikoetako basaltoak elementu bateraezinetan txiro diren goi mantuko fusio partzialetik datoenez, pentsa daiteke Etiopiako Lti-basaltoen jatorria ere goi-mantuan dagoela, baina MORB basaltoak sortzen dituen baino elementu bateraezin gehiago dituen goi mantuan. Ba, K edo Pb-an erakusten duten aberastasuna kontinenteko mantu litosferikoaren metasomatizazioari zein magmak lurrazalean jasan dezakeen kutsadurari sor zaio.

Hti-basaltoek ozeanoko uharteetako basaltoekin (OIB) antzekotasun kimiko handiak erakusten dituzte (4. Ird.). Ozeanoko uharteetako basaltoak luma gorakorrek eraginda sortzen direla dirudenez, parekotasun kimiko horietan oinarritu dira basalto-plataformen jatorria ere luma gorakorren jarduerarekin lotuta dagoela esateko [4,13,14]. Etiopiako Hti-basaltoak, LTi-ak ez bezala, oso bateraezinak diren elementuetan nabarmenki aberatsak dira (5. Ird.). Hti-basaltoetako soslaien eta OIB-etako soslaien artean ez dago inolako ezberdintasunik.

Datu kimiko hauetatik ondoriozta daiteke, MORB eta OIB-ak bezala, Hti- eta Lti-basaltoak mantuko eremu ezberdinetan dutela jatorria. Lehengoek kontinenteko mantu litosferikoaren eragina islatzen badute ere, bigarrenetako sakonera handiko mantuaren fusio partzialetik sortuak behar dute izan, luma gorakorren eraginez goratuak.



5. irudia. Etiopiako basalto-plataformaren Lti- eta Hti-basaltoen elementu anitzeko diagramak, MORB (hirukiak) eta OIB (laukiak) basalto arruntekin alderaruta.

3. BASALTO-PLATAFORMEN JATORRIA

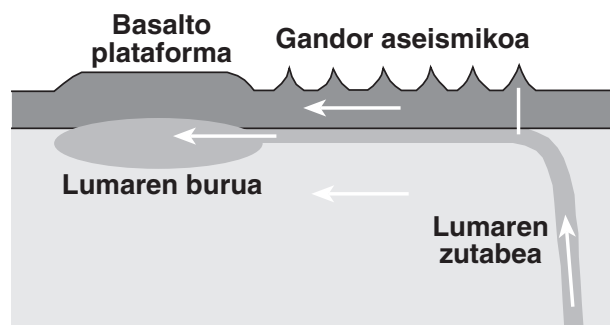
Basalto-plataformek daukaten bolumen handia eta metaketa-denbora laburra uztartuz, garbi dago produkzio magmatikoak ikaragarrikoa behar duela, urtero kilometro kubikoa baino handiagoa. Halako emaria lortzeko mantuak ohiko tenperaturak baino beroagoak behar ditu izan eta magmaren igoera azkarra izan behar da.

Aurrez aipatutako zehaztapen guztiak kontuan hartuz, basalto-plataformen jatorria azaltzeko muturreko bi hipotesien arteko eztabaida sutsua sortu da azkeneko urteetan. Batak mantuko luma gorakorren jarduera beharrezkotzat jotzen duen bitartean [4,13], besteak kontinenteko litosferaren lodiera-ezberdintasunek sortutako tokian tokiko konbekzio-korronteak baino ez ditu erabiltzen [8].

3.1. Luma gorakorrak basalto-plataformen sortzaile

Basalto-plataforma kontinental eta sakonean sortutako luma gorakorren arteko loturaren frogak 90. hamarkadaren hasieran aipatu ziren estreinakoz [15]. Luma gorakor ideala bi zatitan banatuta dagoela esan daiteke: burua eta isatsa [16]. Mantu-nukleo mugaren inguruan sortutako lumek 800-1200 km.ko diametroa duen burua dute eta haren azpitik isats estu bat, burua etengabe sakoneko material beroarekin elikatzen duena [16, 17]. Luma gorakorraren burua kontinenteko litosferaren azpian kokatzean, honen trinkotasuna dela eta, bere diametroa bikoizteraino zabal daiteke. Lortzen duen hedadura bat dator basalto-plataformek dutenarekin, adibidez Karookoak 2500 km.tako diametroa dauka.

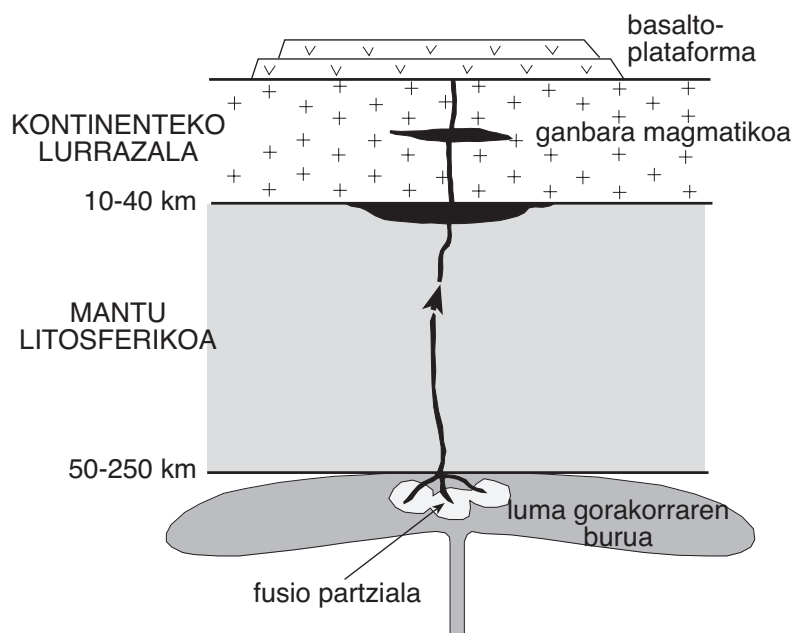
Basalto-koladen erupzioa lumaren buruak litosferarekin topo egitean gertatuko da, burua baita lumaren alde beroena. Horrela, oso epe laburrean sortuko luke magma kopuru handiena litosferarekiko kontaktuan hoztu aurretik. Ondoren, basalto-plataforma eratu eta buruaren eragina desagertu ostean isatsak bizitza luzea duen puntu bero bat mantenduko du lurrazalean. Puntu beroak nahiko egonkorak dira eta gainetik plakak mugitzera-koan basalto-plataformekin lotura izan beharko luketen gandor aseismikoak sortzen dira (Adib. Hawaii-Emperor gandorra) (6. Ird.) [18]. Luma gorakorrak mantuko plaken eskalako konbekzio orokorrarekiko zerikusi handirik ez duen bigarren mailako konbekzio lokal gisa ulertzen dira [19].



6. irudia. Basalto-plataformen eta gandor aseismikoen artean egon daitekeen harremana adierazten duen irudia. Luma gorakorrak litosferaren azpiko aldean kokatzean sortuko litzateke basalto-plataforma eta baliteke ondoren zutabeak bere kokapena gordetzen duenez gandor aseismikoa sortzea. Irudian plaka litosferikoa eta honen azpiko mantua luma gorakorraren zutabearekiko ezkererantz mugitzen direla suposatuta da.

Beraz, luma gorakorraren eredian basalto-plataformak lumaren burua litosfera kontinentalera heltzean sortzen dira. Bertan, ondorengo kristaltze frakzionatuaren bidez desberdindu eta gorantz abiatuko diren jatorrizko

magma basaltikoak sortzen dira (7. Ird.). Prozesu honen azkeneko emaitzan eragina izan dezaketen eremuak hiru dira: (1) litosferaren azpitik hedatzen den luma gorakorraren burua; (2) lodiera oso aldakorra duen kontinenteko mantu litosferikoa (150-250 kratoien azpitik eta 50-100 km lurralde tektoniko aktiboetan); (3) kontinenteko lurrazala, bertan basaltoak sakonera ezberdinetan lekutatuko ganbara magmatikoetan desberdindu egiten direlarik [20].



7. irudia. Basalto-plataformen sorrerarako proposatu den eredu [20].

Eredu honetan luma gorakorraren burua da basalto-plataformak eratzen dituzten basalto-bolumen izugarriak sortzeko behar den beste «gaitasun-energetikoa» duen ingurune bakarra. Lumak duen tenperatura handiagatik eta mugimendu gorakorrean zehar jasan duen deskonpresioagatik, basalto proportzio izugarriak sortzeko gaitasuna duen eremu bakartzat jo daiteke [20]. Kontinenteko litosfera oso ingurune hotza dela uste da, baita luma gorakorrak kondukzioz berotu ondoren ere; gainera behar beste urik ez bide da magma porportzio izugarri horiek sortzeko. HTi eta OIB-en arteko berdintasun geokimikoek iradokitzen dute magmen jatorria luma gorakorraren buruan aurkitu behar dela. Bestalde, baliteke luma gorakorrean jaiotako likidoak goranzko bidean mantu litosferikoan edota kontinenteko lurrazalean sortutakoekin nahastean Lti-basaltoen ezaugarri geokimikoak dituzten produktuak sortzea.

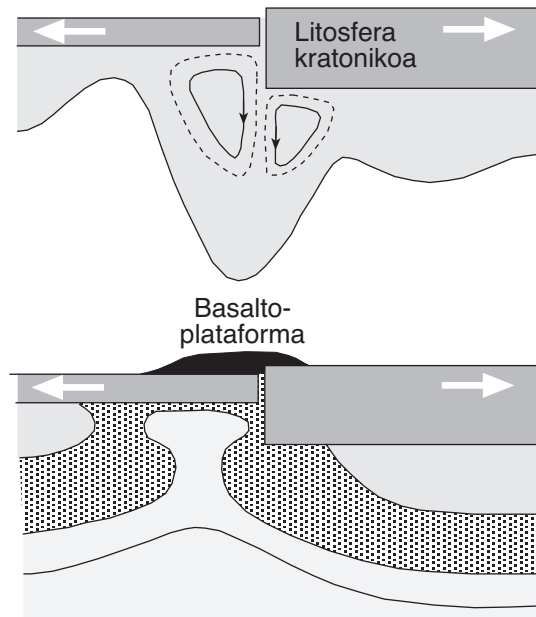
Nahiz eta luma gorakorren ereduaren aldeko zehaztapen ugari lortu diren, badaude eredu kolokan jartzen dituzten zenbait datu ere. Alde bate-tik, aurretik esan den bezala basalto-plataformak, gazteenak behintzat, gandar aseismiko baten bitartez puntu bero batekin lotuta egon beharko lirateke (6. Ird.). Kasu batzutean hori egia dela frogatu ahal izan da [21] (1. Ird.), baina besteetan aldiz, ezin izan da ziurtatu. Bestetik, luma gorakorraren bu-rua kontinenteko litosferaren azpian kokatzean litosferaren altzamendua eragin beharko luke, eta eredu matematikoez gorakada kilometro batekoa izan litekeela iradokitzen dute [4]. Zenbait basalto-plataformatan, aurkitu dira gorakada honen aztarnak, sedimentario zein tektonikoak, baina beste batzuetan ez. Gainera, zenbait basalto-plataforma segida sedimentario lo-diak dituzten rift egiturak erabiliz azaleratu dira, eta beraz pentsa daiteke magmatismoa estentsioa baino gazteagoa dela, luma gorakorraren ereduak esaten duenaren aurka [9].

3.2. Litosferaren lodiera aldaketak basalto-plataformen sortzaile

Ondoren aurkezten den eredu ondo finkatutako datu batean du oina-ria: basalto-plataforma kontinental guztiak kratoi aurrekanbriarren ertze-tan kokatzen dira [1,5,8]. Honetaz gain aurreko ereduak kontuan hartzen ez dituen beste zenbait datu ere erabiltzen dira: goi mantua ez dela isoter-mikoa eta toki guztietan ez duela konposizio eta bilakaera bera, plaken lodie-rra ez dela uniforme eta luma gorakorrak ez direla litosferan gerta daitez-keen esfortzu aldaketen, litosferaren gorakadaren eta tenperatura aldaketen erantzule bakarrak. Datu hauek adieraz lezakete basalto-plataformen bolka-nismoa, batez ere kratoi/ez-kratoi arteko mugan dauden litosferaren ezaugarri fisiko eta geometrikoek baldintzatuta dagoela.

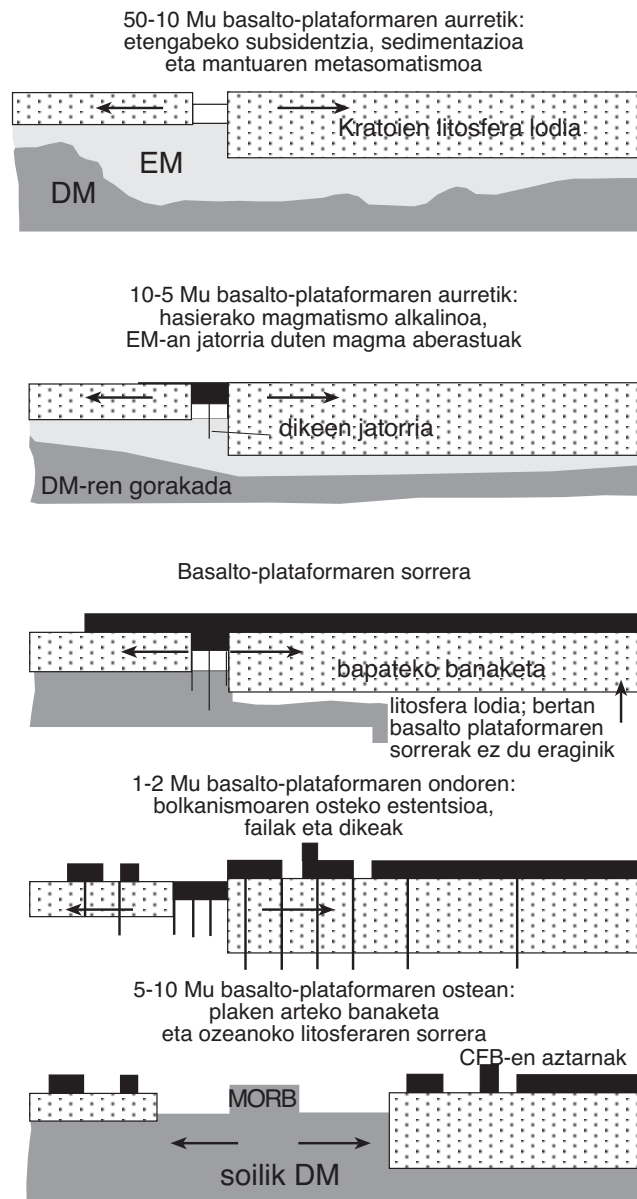
Eredu honetan kratoiaren litosfera zahar eta lodiaren eta gazteago eta argalagoa denaren artean dagoen bero-fluxuaren ezberdintasunak eskala txikiko konbekzioa gidatuko luke (8. Ird.). Kobekzio honen bitartez kratoi-ko litosferaren azpiko mantua kratoi/ez-kratoi mugaraino goratuko litza-teke, bidean mantuko materialen fusioa eragiten dituzten baldintzak zehar-katuz. Etengabeko konbekzioak mantuko material berriaz hornituko luke fusioa sortzen duen eremua, eta horrek basalto-plataformetan behatzen di-ren magma kopuru izugarrien agerpena azalduko luke.

Kratoi eta ez-kratoi arteko mugek, muga kimiko/mekanikoa izateaz gain, sarritan plaken arteko joskera zaharrak ezkututzen dituzte, eta ondo-rioz litosferaren barneko ahultasun-eremutzat har daitezke. Litosferaren azpiko mantuaren fluxua ingurune hauetan fokalizatzeke litosferaren bar-ne indar estentsionalen eragina beharrezkoa dela dirudi (8. Ird.). Hau da, kratoiaren muga guztiak ez dira basalto-plataformak sortzeko ingurune ego-kiak [8].



8. irudia. A) Litosferaren apurketa ahultasun eremu batez baliatuz. Litosferaren lodiera ezberdintasunek lekuan lekuko konbekzio-korronteen agerpena eragin dezakete. B) Konbekzio-korronte hauek sakonagoko mantuko peridotitak gorantz mugiarazten dituztelarik, deskonpresioz basalto-plataformak sortzeko beste magma era daiteke [1].

Basalto-plataformen sorrerarako litosferak jasan behar duen indar estentsionalen eragina agerian gelditzen da egitura bolkaniko hauen eta riften arteko harremana ikusita. Baina arlo honetan bi ereduaren artean ezberdintasun nabarmena dago. Luma gorakorren ereduak proposatzen du lumaren eraginez litosfera konkortu, konkorduraren ondorioz litosfera pitzatu eta riftaren estreinako urratsak bolkanismoarekin batera gerta litezkeela; beraz riftaren garapena bolkanismoaren ondoren gertatuko litzateke [13]. Zenbait tokitarako, aldiz, proposatu da jadanik garatutako rift egituren gainean koka litezkeela. Hau da, basalto-plataformek sekuentzia sedimentario lodiak estaltzen dituzte, sedimentazio-historia aurrebolkanikoa luzea izan dela adieraziz [9]. Beraz, eredu batean basalto-plataformen sorrera estentsioaren katalizatzailetzat hartzen den bitartean, bestean estentsioa bera da indar nagusia, bilakaera luze baten ondoren erupzio prozesuaren kokapena finkatuko duena. 9. irudian islatu da kontinenteko zein ozeanoko basalto-platafomen sorrera-prozesua. Etengune litosferiko zaharretatik abiatuta, eskala txikiko konbekzioak mantuko materialen fusio partziala eragin dezake, rift edo haustura eremu sakonei eta litosferaren estentsioei jarraiki. Sortu eta azaleratuko den magma kopurua, batez ere, litosferak jasaten duen indar estentsionalaren, mantuko temperaturaren, mantuko konposizio eta emankortasunaren eta gai lurrunkorren kopuruaren menpe egongo da.



9. irudia. Basalto-plataformen sorrerarako proposatutako beste eredu bat [9]. a) Hasieran, lodiera ezberdineko bi litosfera-blokeren arteko rifting prozesua, subsidentzia eta sedimentazioa. b) Sarritan bolkanismo toleikoaren aurretik behatzen den bolkanismo alkalinoaren agerpena. c) Bi blokeak urrundu eta basalto-plataformaren sorrera. d) Sumendi-erupzio nagusiaren osteko estentsioa eta erupzio mugatuagoen jarduera. e) Lurrazal ozeanikoaren eta MORB motako arroka bolkanikoen agerpena. EM: elementu bateraezinetan aberatsa den mantua; DM: elementu bateraezinetan txiropa den mantua. Hasierako magmatismo alkalinoak EM eremuan izango luke jatorria, basalto-plataformak DM eta EM eremuen arteko nahasketaz eratuko lirateke eta EM eremua guztiz agortzean gandorretatik isuritako MORB basalto arruntak sortuko lirateke [9].

4. BASALTO-PLATAFORMAK ETA SUPERKONTINENTEEN APURKETA

Plaka tektonikaren teoria garatu zenetik basalto-plataformen sorrera eta kontinenteen apurketaren arteko adin-harremana ezaguna da geolo-goontzat [22]. Azken 300 Mu.an hamar basalto-plataforma handi garatu dira. Etiopiakoa da gazteena eta orain dela 30 Mu, Itsas Gorriko eta Aden Golkoko riftekin batera, eta agian Eki-Afrikako riftarekin batera ere sortu zen. Antzeko harremanak aurkitu dira hurrengo eskualdeen artean: 55 Mu-ko Groenlandiako basaltoen eta Ipar Atlantikoaren irekitzearen artean, 66 Mu-ko Deccaneko basaltoen eta Iparmendebaldeko ozeano Indikoaren irekitzearen artean, 133 Mu-ko Paranáko basaltoen eta Hego Atlantikoaren irekitzearen artean, 183 Mu-ko Karooko basaltoen eta Hegomendebaldeko ozeano Indikoaren irekitzearen artean eta 201 Mu-ko Atlantikoaren erdialdeko basaltoen eta Atlantiar Erdiko ozeanoaren irekitzearen artean.

Aipatutako datuek garbi erakusten dute azkeneko 200 Mu.an sortutako basalto-plataforma nagusi guztiak ozeano-arro baten sorrerarekin lotuta daudela [4]. Gainera, kasu gehienetan basalto-plataformen garapen-urrats nagusiaren eta lurrazal ozeanikoaren sorrera-data adierazten duen anomalia magnetiko zaharrenaren arteko adin ezberdintasuna oso txikia da [14]. Beraz, luma gorakorrek basalto-plataformen eragileak badira eta hauek kontinenteen apurketarekin harreman estuak badituzte, luma gorakorrek kontinenteen apurketan eragin zuzena dutela pentsa daiteke [7].

Siberiako basalto-plataformak, zabaleran ezagutzen den handiena izanik, arazoak sortzen ditu eskema honen barruan, eratu ondoren ez delako arro ozeaniko berririk garatu. Esan izan da, orain dela 250 Mu (Permian-Triasiko mugan) sortutako basalto-plataforma honek ez duela rift egiturekin inongo harremanik, baina baita, arroka bolkanikoen inguruan estentsioaren aztarna ugari eta arro sedimentario sakonak aurkitu direla ere [2]. Kasu honetan, bolkanismoaren ostean litosferaren esfortzu-baldintza orokorrak aldatu egingo zirela aipatzen da, eta beraz ozeanoaren garapena eragotziko zela.

Permian-Triasiako mugan Lurraren kontrako meteorito baten talka gertatu zela pentsatzeko zenbait aztarna aurkitu direnez (Antartika eta Australiaren zenbait tokitan iridio anomalia bat eta talka-kuartzoen agerpena) asan izan da Siberiako basalto-plataforma talka horrek eragindako bolkanismoaren eraginez sortu dela [23]. Baliteke, meteorito handien talkek deskonpresio fusioa eragitea, garapen azkarreko magma-bolumen handiak eratzea eta meteoritoak sortutako kraterra betirako estaltzea. Auto-obliterazio prozesu honek azal lezake gure planetak Eguzki Sistemako Lurraren inguruko beste planetekin alderatuz erakusten duen krater handien (≈ 200 km) eza.

5. BASALTO-PLATAFORMAK ETA SUNTSIPEN-OROKORRAK

Proposatu izan da bolkanetaren bidez atmosferara isuritako gasek hila-bete batzuen eta zenbait mila urteren arteko iraupena duten aldaketa klimatikoak eragin ditzaketela. Erupzio historikoak aztertuz, egiaztatu da epe laburreko aldaketak gertatu direla; sumendi-erupzioek bolkanikoek eragindako denbora luzeagoko aldaketak aldiz, ez dira, orain arte behintzat, egiaztatu. Hau da, sumendi-erupzioek eguraldia bai, baina klima ezin dutela aldatu aldarrikatu izan da [24]. Baina historikoki ezagutu ditugun erupzioek ez dute zerikusirik basalto-plataformak eratzen dituztenekin, hauek zenbait magnitude-orden handiagoak direlako. Erupzio erraldoi hauek dira hainbat suntsipen-gararekin lotu izan direnak.

Egun, basalto-plataformen sorrera eta suntsipen-garai ezberdinen artean dagoen denbora-harremana, 10. irudiko taulan ikus daitekeen bezala, nahiko ondo zehaztuta dago [25,26,27]. Ezagutzen diren 10 basalto-plataforma nagusietatik 5 suntsipen orokorreko garaiekin bat datoz eta beste bi maila txikiagoko suntsipen-garaiekin. Basalto-plataformek ozeanoetako anoxia prozesuekin ere lotura nabarmena erakusten dute, nahiz eta anoxia soilik izan ozeanoetako 4 suntsipen-garaietako erantzule zuzena (Permiar bukaerakoa, Toarciar goiztiarrekoa, Cenomaniarraren bukaerakoa eta Paleozeno barantiarrekoa). Basalto-plataformen eta suntsipen-garaien arteko harreman zuzenena erdialdeko Fanerozoikoko prozesuetan ikusten da (Emeishan, Siberia, CAMP eta Karoo-Ferrar basalto-plataformetan). Jurasikoaren ondoren erlazioa ez da horren zuzena. Deccaneko basalto-plataforma baino ez dator bat Kretazeo-Tertziarioko suntsipen orokorrarekin, baina kasu honetan, zalantza handirik gabe, Chicxulub-eko meteoritoen talka da suntsipenaren arrazoia [28]. Kretazeo eta Paleozeno bitartean sortutako basalto-plataformek ozeanoetako anoxia eta klima beroko garaiekin bat datoz, baina ez dute biosferan aldaketa nabarmenik eragiten, eta agian hau izan daiteke kasu hauetako berezitasuna.

Basalto-plataformen bolumenaren eta suntsipen mailaren artean ez dago lotura zuzenik, baina baliteke erupzio prozesua zenbat eta laburragoa izan suntsipen-maila handiagoa eragitea [24]. Erupzio-denbora murrizteak sumendietatik isuritako CO₂-a atmosferan portzentai handiagoetan pila-tzea ekar dezake. CO₂-aren pilaketa honek eragin lezake basalto-plataformen sorrerarekin harremanetan jarri diren klima-berotze azkarreko garaiak (10. irudia) eta ondorioz ingurune itsastarreko suntsipenak eragiten dituzten ozeanoetako anoxia-garaiak. Hala ere, harreman honetan orain arte konpondu gabe dagoen paradoxa dago zeren berotze/anoxia garai hauek suntsipen orokor nagusiko, zein maila txikiagoko suntsipeneko eta suntsipenik gabeko garaietan gertatzen baitira.

Basalto-plataformak: ezaugarriak, jatorria eta kontinenteen apurketa...

Basalto-plataformak eta lurralde igneoak	Adina	Berotze orokorra	Ozeanoetako anoxia	Muga estratigrafikoa	Adina
Etiopiako plataforma	31±1			Oligozeno goiztiar-berantiarra	30
Ipar Atlantiarreko lurralde igneoak	55±1	bai	bai	Paleozeno-Eozenoa	54.8
Deccan	66±1	bai	bai	Kretazeo-Tertziarioa	65±0.1
Karibe-Kolonia	89.5±0.3	bai	bai	Cenomaniar-Turoniarra	93-90
Parana-Etendeka	133±1			Hauteriviari-Valanginiarra	132±1.9
Antartika	180±7			Aaleniar-Bajociarra	176.5±4
Karao-Ferrar	183±1	bai	bai	Behe/Erdi Jurasikoa	180.1±4
Atlantiar-erdiko lurralde magmatikoa (CAMP)	201±1	bai	bai?	Triasiko-Jurasikoa	205.7±4
Siberiako plataforma	249±1	bai	bai	Permiar-Triasikoa	248±4.8
Emeishaneko plataforma	258±1		bai	Guadalupiar-Lopingiarra	258

10. irudia. Basalto-plataforma kontinental nagusiek Lurreko berotze orokorreko garaiekin, ozeanoetako anoxia garaiekin eta suntsipen biologiko orokorreko garaiekin dituzten adin harremanak.

6. ONDORIOAK

Basalto-plataformen egitura eta ezaugarri petrologiko zein geokimikoak oso ondo finkatuta daude. Egun eztabaida bizia dago, ordea, erupzio bolkaniko izugarri hauen jatorria definitzerakoan eta kontinenteen apurketarekin eta suntsipen orokorrekin dituen adin-harreman zuzenak azaltzerakoan.

Basalto-plataformen ezaugarri geokimikoek mantu sakoneko eragina nabarmena dela erakusten dute eta egun, mantu sakona eta azalean gertatzen diren prozesu geologikoen artean dagoen zubi bakarra luma gorakorrak dira; beraz, baliteke hauek izatea basalto-plataformen azken erantzuleak. Baina horrela izatekotan, basalto-plataforma guztiek erakutsi beharko

lukete luma gorakorren eragina, hala nola litosferaren konkordura, basalto-plataforma eta luma gorakor eragilearen artean gandor aseismiko baten garapena, ezaugarri geokimiko bereziak eta luma gorakorren aztarna geofisikoak [29]. Gutxi dira baldintza hauek guztiak betetzen dituzten basalto-plataformak eta hortaz, pentsa dezakegu basalto-plataforma guztiak jatorri bera izan behar ez dutela, edo luma gorakorren artean oso ezaugarri ezberdinak dituztenak aurki daitezkeela [29].

Basalto-plataformen eta kontinenteen arteko aldiberekotasunak bien artean lotura zuzena dagoela iradokitzen badu ere [2], zalantzak daude basalto-plataformek apurketaren hasiera adierazten dutela edo behin apurketa hasi ondoren azaleratzen direla baieztatzeko orduan [9]. Azkeneko 200 Mu-tan garatutako basalto-plataforma kontinental guztien eta kontinentetan garatutako rift berrien arteko harremana ondo zehaztuta dago eta badirudi luma gorakorren eragina beharrezkoa dela kontinenteen apurketa eta ozeano berri baten sorrera gertatu ahal izateko. Hala ere, badirudi lumek soilik kontinenteen apurketarik ezin dutela eragin, eta azalean plaka litosferikoen barne sortzen diren esfortzuekin elkarlanean aritu behar direla ozeano berri bat sortu ahal izateko[30].

Basalto-plataformen eta suntsipen biologiko orokorren artean aldiberekotasun bat ere badagoela ezin daiteke ukatu. Baina, era berean, bien artean harreman zuzena dagoenik ezin baieztatu daiteke, batez ere basalto-plataforma guztiak ez daudelako harremanetan suntsipen orokor batekin eta suntsipen orokor guztiak ez direlako basalto-plataforma batekiko garaikideak. Badirudi basalto-plataformak sortzean atmosferara isuritako CO₂ kopuru izugarriak direla ozeanoetan deskribatutako anoxia-garaien erantzule eta, era berean, historia geologikoan zehar gertatutako zenbait suntsipen orokorren erantzule nagusiak [24]. Hala ere, egun garbi dago basalto-plataformak ez direla suntsipen biologikoak eragiten dituzten prozesu bakarrak [25,26,28].

BIBLIOGRAFIA

- [1] ANDERSON, D.L. 1994. «The sublithospheric mantle as the source of continental flood basalts». *Earth Planet. Sci. Lett.*, **123**, 269-280.
- [2] COURTILLOT, V., JAUPART, C., MANIGHETTI, I., TAPPONNIER, P. eta BESSE, J. 1999. «On causal links between flood basalts and continental breakup». *Earth Planet. Sci. Lett.*, **166**, 177-195.
- [3] WHITE, R.S. eta MCKENZIE, D. 1989. «Magmatism at rift zones: the generation of volcanic continental margins and flood basalts». *J. Geophys. Res.*, **94**, 7685-7729.
- [4] CAMPBELL, I.H. eta GRIFFITHS, R.W. 1990. «Implications of mantle plume structure for the evolution of flood basalts». *Earth Planet. Sci. Lett.*, **99**, 79-93.
- [5] KING, S.D. eta ANDERSON, D.L. 1998. «Edge-driven convection». *Earth Planet. Sci. Lett.*, **160**, 289-296.

- [6] ANDERSON, D.L. 2000. «The thermal state of the upper mantle; no role for mantle plumes». *Geophys. Res. Lett.*, **27**, 3623-3626.
- [7] DALZIEL, I.W.D., LAWVER, L.A. eta MURPHY, J.B. 2000. «Plumes, orogenesis, and supercontinental fragmentation». *Earth Planet. Sci. Lett.*, **178**, 1-11.
- [8] KING, S.D. eta ANDERSON, D.L. 1995. «An alternative mechanism of flood basalt formation». *Earth Planet. Sci. Lett.*, **136**, 269-279.
- [9] SHETH, H.C. 1999. «A historical approach to continental flood basalt volcanism: insights into pre-volcanic rifting, sedimentation, and early alkaline magmatism». *Earth Planet. Sci. Lett.*, **168**, 19-26.
- [10] ERNST, R.E., HEAD, J.W., PARFITT, E., GROSFILS, E. eta WILSON, L. 1995. «Giant radiating dyke swarms on Earth and Venus». *Earth Sci. Rev.*, **39**, 1-58.
- [11] ERNST, R.E., GROSFILS, E.B. eta MÈGE, D. 2001. «Giant dike swarms: Earth, Venus, and Mars». *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, **29**, 489-534.
- [12] MEHIER, B. 1995. *Magmatisme et tectonique des plaques*. Ellipses, Aubin imprimeur, Poitiers
- [13] RICHARDS, M.A., DUNCAN, R.A. eta COURTILLOT, V. 1989. «Flood basalts and hotspot tracks: plume heads and tails». *Science*, **246**, 103-108.
- [14] WHITE, R.S. eta MCKENZIE, D. 1995. «Mantle plumes and flood basalts». *J. Geophys. Res.*, **100**, 17543-17585.
- [15] GRIFFITHS, R.W. eta CAMPBELL, I.H. 1990. «Stirring and structure in mantle strting plumes». *Earth Planet. Sci. Lett.*, **99**, 66-78.
- [16] HILL, R.I. 1991. «Stranting plumes and continental break-up». *Earth Planet. Sci. Lett.*, **104**, 398-416.
- [17] APRAIZ, A. 1995. «Plaken tektonikaren oinarri zinematikoak: gaur eguneko eztabaidagaiak». *Ekaia*, **3**, 65-80.
- [18] WILSON, J.T. 1963. «A possible origin of the Hawaiian Islands». *Can. J. Phys.*, **41**, 863-870.
- [19] DAVIES, G.F. 1988. «Ocean bathymetry and mantle convection, 1. Large-scale flow and hotspots». *J. Geophys. Res.*, **93**, 10467-10480.
- [20] ARNDT, N.T., CZAMANSKE, G.K., WOODEN, J.L. eta FEDORENKO, V.A. 1993. «Mantle and crustal contributions to continental flood volcanism». *Tectonophysics*, **223**, 39-52.
- [21] DUNCAN, R.A. eta RICHARDS, M.A. 1991. «Hotspots, mantle plumes, flood basalts, and true polar wander ». *Rev. Geophys.*, **29**, 31-50.
- [22] MORGAN, W.J. 1971. «Convection plumes in the lower mantle». *Nature*, **230**, 42-43.
- [23] JONES, A.P., PRICE, G.D., PRICE, N.J., DECARLI, P.S. eta CLEGG, R.A. 2002. «Impact induced melting and the development of large igneous provinces». *Earth Planet. Sci. Lett.*, **202**, 551-561.
- [24] WIGNALL, P.B. 2001. «Large igneous provinces and mass extinctions». *Earth. Sci. Rev.*, **53**, 1-33.
- [25] HALLAM, A. eta WIGNALL, P.B. 1997. *Mass extinctions and their aftermath*. Oxford Univ. Press, Oxford.
- [26] COURTILLOT, V. 1999. *Evolutionary catastrophes: the science of mass extinction*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- [27] OLSEN, P.E. 1999. «Giant lava flows, mass extinctions, and mantle plumes». *Science*, **284**, 604-605.

- [28] ALVAREZ, L.W., ALVAREZ, W., ASARO, F. eta MICHEL, H.V. 1980. «Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction: experimental results and theoretical interpretation». *Science*, **208**, 1095-1108.
- [29] COURTILOT, V., DAVAILLE, A., BESSE, J. eta STOCK, J. 2003. «Three distinct types of hotspots in the Earth's mantle». *Earth Planet. Sci. Lett.*, **205**, 295-308.
- [30] ZEYEN, H., VOLKER, F., WEHRLE, V., FUCHS, K., SOBOLEV, S.V. eta ALTHERR, R. 1997. «Styles of continental rifting: crust-mantle detachment and mantle plumes». *Tectonophysics.*, **278**, 329-352.