

Facultad de Ciencia y Tecnología
Universidad del País Vasco/EHU
Departamento de Mineralogía y Petrología

Ciclo de Conferencias

La corteza oceánica actual y fósil (ofiolitas)

Conferencia I, 11 de Marzo de 2009

Por el Dr. Thierry Juteau

La dorsal oceánica mundial: volcanes submarinos, fumarolas negras y fauna hidrotermal.

En esta primera conferencia, el Dr. Thierry Juteau nos presenta las características de la dorsal oceánica mundial, estructura clave de la tectónica de placas, y nos describe la actividad magmática, tectónica e hidrotermal que se desarrolla actualmente en ella. La conferencia consiste en una presentación en PowerPoint, en la que se resume una buena parte de su experiencia en el estudio de los fondos oceánicos actuales, seguida por la proyección del video titulado *Les volcans sous la mer* (Volcanes bajo el mar). Si hay tiempo, después del turno de preguntas, se proyectará también un video corto titulado *Jardins obscurs*, con imágenes espectaculares de la fauna profunda asociada a los black smokers.

Presentación en PowerPoint

En el *prólogo*, y para introducir al público en ambiente, Thierry Juteau nos cuenta en detalle su primer buceo (inmersión) sobre un *black smoker* de la dorsal del Pacífico, a 2500 metros de profundidad, en el submarino americano *Alvin*. Ese día, Thierry Juteau y su colega americano Bill Normark fueron los primeros científicos en ver de cerca un grupo de chimeneas hidrotermales activas en la zona axial de la dorsal oceánica, y en observar con asombro el increíble espectáculo de la fauna hidrotermal aglutinándose alrededor de las chimeneas.

La *primera parte* de la conferencia está dedicada a la descripción de la dorsal oceánica mundial, la gigantesca cadena de volcanes submarinos que se extiende a lo largo de más de 60.000 km, y cuyos relieves cubren una superficie comparable a aquella de los continentes. La parte más alta de la dorsal está formada por una doble cresta en medio de la cual aparece una profunda fosa, el *rift axial*. Dentro de este estrecho rift la inyección continua de magma basáltico construye poco a poco la corteza oceánica, provocando la expansión simétrica del fondo del océano. La dorsal exhibe varios niveles de segmentación longitudinal, empezando por las numerosas *zonas de fractura*, discontinuidades rígidas y fijas que con frecuencia atraviesan todo el fondo oceánico. La velocidad de expansión de la dorsal varía mucho, desde 1 cm/año hasta cerca de 20 cm/año. Thierry Juteau presenta las diferencias (de morfología, estructura, litología, dinamismo eruptivo y funcionamiento de las cámaras magmáticas) entre las dorsales rápidas (> 10 cm/año, tipo Pacífico), y las dorsales lentas (< 5 cm/año, tipo Atlántico).

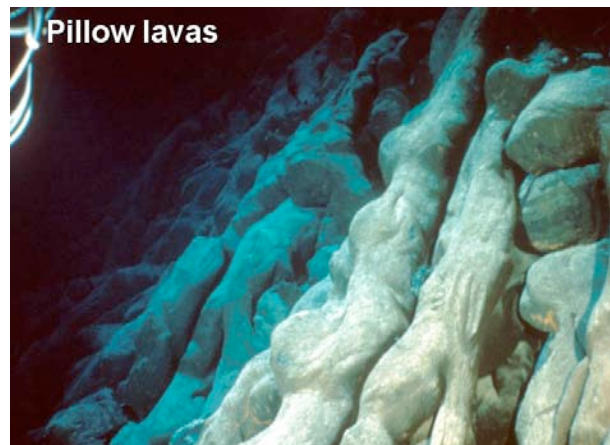
La *segunda parte* trata de las herramientas y tecnologías a disposición del geólogo oceanógrafo. El problema es: ¿Cómo tener acceso al fondo del océano situado a varios kilómetros bajo el agua? La primera tarea es levantar un mapa batimétrico de la zona a estudiar, mediante sistemas de sonars y *multibeam* sonars capaces de cartografiar una banda continua de 20 km de

ancho por debajo del buque oceanográfico. Los satélites altimétricos han ayudado mucho a conocer la batimetría de los fondos oceánicos poco accesibles, por ejemplo en las zonas árticas. También las cámaras submarinas ayudan a cartografiar en detalle zonas restringidas, por ejemplo un grupo de "black smokers". El segundo problema es: ¿Cómo recoger muestras de rocas que afloran en el fondo del océano? El ingenio humano ha diseñado varias tecnologías para este propósito, desde las más sencillas (dragas, extractores de testigos) hasta las más sofisticadas (buques perforadores, sumergibles y robots). Thierry Juteau ha utilizado todas esas técnicas y nos cuenta sus experiencias como jefe de misión a bordo del buque perforador americano *Joides Resolution*, en el marco del programa internacional ODP (*Ocean Drilling Program*), y a bordo del buque francés *Nadir*, llevando el sumergible *Nautilus*, capaz de bucear (sumergirse) hasta 6.000 metros de profundidad.

En la **tercera parte**, Thierry Juteau describe las características del volcanismo submarino en condiciones de gran profundidad de agua. Bajo la presión de varios kilómetros de agua de mar, los gases no pueden vesicular (exsolución de los volátiles), y se quedan disueltos en la lava basáltica. En consecuencia, no hay explosiones ni productos piroclásticos, sólo coladas más o menos fluidas. Según la amplitud del caudal, esas coladas producen *pillow lavas* (caudales moderados) o bien *coladas masivas* y *lagos de lava* (caudales importantes). Thierry Juteau explica los mecanismos de formación de esas dos categorías de coladas submarinas, sus relaciones mutuas y sus proporciones relativas según la dorsal sea rápida o lenta. Hasta hoy, **¡nadie ha sido testigo de una erupción a gran profundidad!** Los tripulantes del sumergible americano *Alvin* casi lo consiguen. Llegaron sólo unas horas después de producirse una emisión de lava en la dorsal del Pacífico. En el momento de su llegada a la zona de erupción, bautizada como Barbacoa, toda la fauna hidrotermal estaba carbonizada y todavía humeante, pero era ya demasiado tarde para ver fluir la lava.



El sumergible francés Nautilus en acción (Foto T. Juteau).



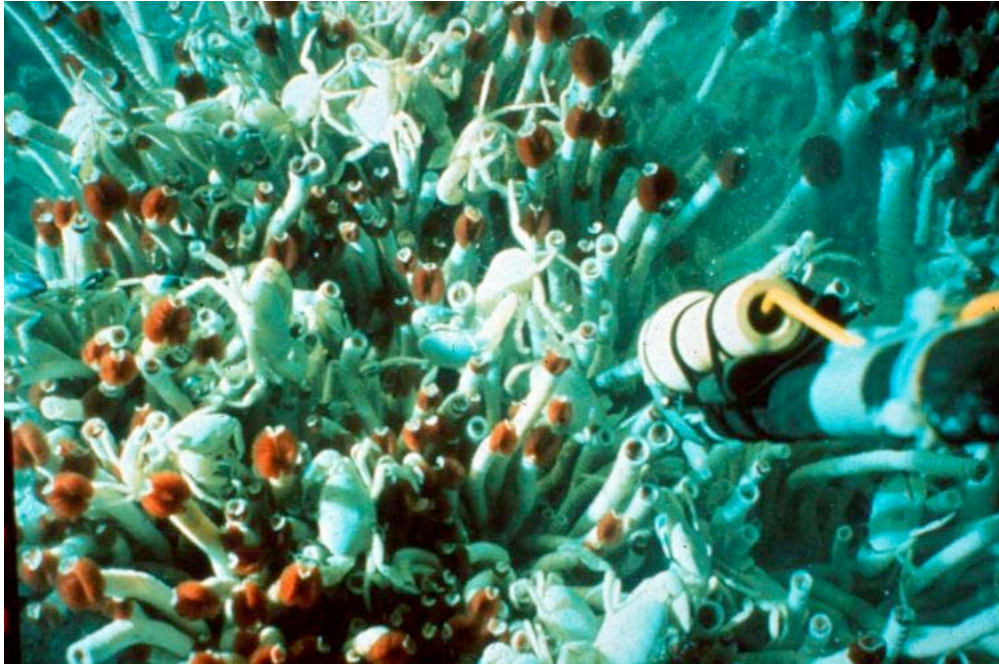
Frente de una colada de pillow lavas situada sobre el flanco escarpado (50° de pendiente) de un volcán axial (Foto T. Juteau).

En la **cuarta y última parte**, Thierry Juteau describe los procesos geológicos que controlan la actividad hidrotermal en las dorsales oceánicas. En este ambiente se reúnen todas las condiciones para el desarrollo de una vigorosa convección del agua del mar dentro de la joven corteza oceánica: un fluido inagotable (el agua del mar), una excelente permeabilidad de fractura, y un enorme gradiente térmico provocado por la proximidad de las cámaras magmáticas calientes (1200 °C) al fondo oceánico (0 °C). El agua del mar se transforma, durante su itinerario por el interior de la corteza oceánica, en un fluido hidrotermal ácido, muy caliente (> 400 °C), cargado de sulfuros polimetálicos ricos en Fe, Cu y Zn. Este fluido hace irrupción en el fondo oceánico con caudales impresionantes y precipita en masa su carga de sulfuros, edificando las chimeneas de los *black smokers*. Con el tiempo, esta actividad hidrotermal produce acumulaciones de millones de toneladas de minerales metálicos que constituyen, sin duda, **los yacimientos metálicos del futuro**.

El ecosistema aglutinado alrededor de esos *puntos calientes* era totalmente desconocido hasta el final de la década de los 70. Desde el hallazgo de los *black smokers* hasta hoy, más de 400 especies

nuevas han sido descubiertas. Praderas de gusanos gigantes viven dentro de tubos blancos, colonias de almejas y gasterópodos viven en simbiosis completa con bacterias anaerobias y quimiótrofas que utilizan la energía liberada por la transformación química del H_2S o del CH_4 para sintetizar moléculas orgánicas a partir del CO_2 y de sales nutritivas. Estos organismos, fijados en el fondo o sobre las chimeneas, sirven de alimento a centenares de especies sueltas como cangrejos, gambas, peces, pulpos, etc.

El descubrimiento de estos ecosistemas profundos ha abierto de nuevo el fascinante problema de los orígenes de la vida: el entorno de las fumarolas negras constituye claramente un sitio natural favorable para la aparición de la vida, y el descubrimiento de *Archaeobacterias*, con un ARN muy primitivo, podría confirmar esta hipótesis.



Pradera de gusanos Pogonóforos Riftia (dorsal del Pacífico) (Foto T. Juteau)

Les volcans sous la mer

La película *Volcanes bajo el mar*, producida por la cadena de televisión *La Sept Arte* y el Instituto *Ifremer*, cuenta el desarrollo de una misión oceanográfica europea a bordo del buque francés *Atalante*, llevando el sumergible *Nautilus*, que culmina con el descubrimiento de una nueva región hidrotermal activa en la zona axial de la dorsal medio-Atlántica. Un buque americano llevando el sumergible *Alvin* está también explorando la zona... El momento más emocionante de la película es un buceo de los dos sumergibles juntos, a más de 3.000 metros de profundidad, sobre el campo de *black smokers* que los europeos acababan de descubrir.

**Zientzia eta Teknologia Fakultatea
Euskal Herriko Unibertsitatea
Mineralogia eta Petrologia Saila**

Hitzaldi Zikloa

**Egungo eta iraganako (*ofiolitak*) lurrazal
ozeanikoa**

Lehenengo Hitzaldia, 2009ko martxoaren 11a

Thierry Juteau Doktorea

**Munduko ozeano-gandorra: itsas azpiko sumendiak, fumarola beltzak
eta fauna hidrotermala**

Lehenengo hitzaldi honetan, Thierry Juteau Doktoreak munduko ozeano-gandorraren ezaugarriak aurkezten dizkigu, plaka-tektonikaren funtsezko egitura, bertako iharduera magmatiko, tektoniko eta hidrotermalak deskribatuz. Hitzaldiaren lehenengo atala *PowerPoint* baten emanaldiarekin hasiko da, egungo ozeano hondoetako ikerketan jasotako esperientziak biltzen direlarik, eta jarraian *Les volcans sous la mer* (Sumendiak itsas-azpitik) pelikularen emanaldia izango da. Galderen ostean, denbora badago, lehen saio hau *Jardins obscurs* izenburuko pelikula laburraren emanaldiarekin bukatuko da; pelikula honetan *black smoker*-ekin erlazionatutako sakonerako faunaren irudi espektakularrak ikusi ahal izango dira.

PowerPoint aurkezpena

Hitzaurrean, publikoa giroan sartzeko, Thierry Juteauk *Alvin* urpekontzi ipar-amerikarrean egindako bere lehenbiziko urperatzearen mamia azaltzen du. Egun horretan, Ozeano Barean 2500 metroko sakoneran Thierry Juteau eta bere lagun ipar-amerikarra Bill-Normark, ozeano-gandorraren haran axialeko tximinia hidrotermal aktiboak ikusten lehen ikerlariak izan ziren; urperatze honetan harridura haundiz tximinia inguruan bildutako fauna hidrotermalak eskainitako ikuskizuna ikusi ahal izan zuten.

Hitzaldiaren *lehenengo zatian* munduko ozeano-gandorraren deskribapena egingo da, 60.000 km luzerako itsas azpiko sumendi kate izugarri honen erliebeak estalitako gainazala kontinenteen azalera bezain bestekoa da. Bi gailur luze osatzen dute gandorraren alde garaienak eta hauen erdian fosa sakon bat luzatzen da, *rift axiala* hain zuzen. Rift estu honen barruan etengabeko magma basaltikoaren injekzioak astiro-astiro lurrazal ozeanikoa eraikitzen du, ozeano hondoa simetrikoki hedatuaraziz. Ozeano-gandorrek maila desberdineko luzerako segmentazioa aurkezten du, adibidez *haustura zona* direlakoak, hauek etengune zurrun eta finkoak dira askotan ozeano hondoa osorik zeharkatzen dutelarik. Gandorren hedatze-abiadura oso aldakorra da (1 – 20 cm/urte). Thierry Juteauk abiadura haundiko (> 10 cm/urte, Ozeano Barea tankerakoak) eta moteleko (< 5 cm/urte, Ozeano Atlantikoa tankerakoak) ozeano-gandorren arteko desberdintasunak azaltzen ditu (morfologia, egitura, litologia, erupzio-dinamika eta ganbara magmatikoen funtzionamendua).

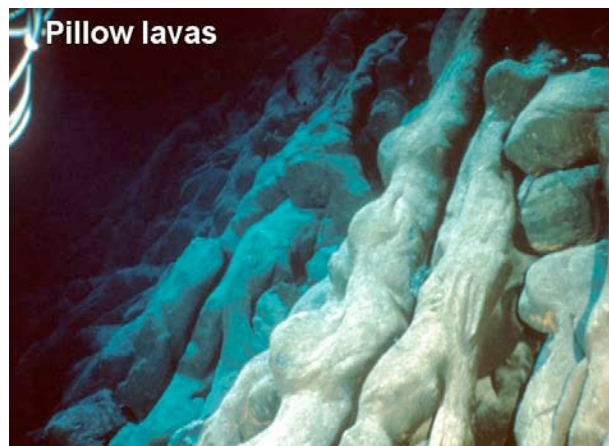
Bigarren zatian geologo ozeanografoak eskura dituen tresna eta teknologiak aztertzen dira. Erronka zaila da : Nola eskuratu ozeano hondoetako datuak ur azpian hainbat kilometrotara baldin

badaude? Lehenengo urratsa ikerketa zonaren mapa batimetrikoa egitea da; lan horretan sonar sistemak eta *multibeam* sonarrak erabiltzen dira, azken hauek ontzi ozeanografikoaren azpitik 20 km zabalera duen banda jarrai bat kartografiatzeko gai dira. Bestalde, satelite altimetrikoei esker zailtasunez heldu daitezkeen ozeano hondoetako batimetria ezagutu daiteke, artiko inguruak, besteak beste. Urpeko kamaren laguntza ere ezinbestekoa da eskualde heldugaitzetako kartografia eraikitzeke, adibidez *black smoker* inguruan egin daitezkeenak. Bigarren arazoari dagokionez, hots, nola burutu ozeano hondoetako arroken laginketa?, gizakiak teknika desberdinak diseinatu izan ditu, batzuk sinpleak (dragak, muin erauztailuak) eta beste batzuk konplexuak (itsasontzi zulatzaileak, urpekontziak eta robotak). Thierry Juteauk aipatutako teknika guztiak erabili izan ditu. ODP (*Ocean Drilling Program*) nazioarteko programan barne, *Joides Resolution* itsasontzi zulatzaile amerikarran zuzendari bezala jasotako esperientziak kontatuko dizkigu; eta hauekin batera, *Nadir* itsasontzi frantsesan bizitakoak ere, bertatik 6000 metroko sakoneraraino urperatzea egin zuen *Nautila* urpekontziarekin.

Hirugarren zatian, Thierry Juteauk sakonera haundiko itsas azpiko bolkanismoaren ezaugarriak deskribatzen ditu. Hainbat kilometroko itsasoko urak eragindako presio haundietan gasen besikulazioa (gai hegazkorren exoluzioa) ezinezkoa da, gasak laba basaltikoan disolbatuta geratzen direlarik. Ondorioz, ez daude leherketarik ezta piroklastikorik ere, soilik kolada jariokorrak. Emariaren arabera, kolada horiek *kuxin labak* (emari ertainak) edo *kolada masiboak* eta *laba lakuak* (emari haundiak) sortzen dituzte. Kontutan izanda ozeano-gandorren hedatze-abiadura Thierry Juteauk aipatutako bi kolada mota hauen sorrera, euren arteko harremana eta proportzio erlatiboak azaltzen ditu. Oraindik ez dago sakonera haunditan izandako erupzio baten lekukorik!!. *Alvin* urpekontzi ipar-amerikarraren tripulatzaileak ia lortu zuten. Ozeano Bareko gandorrean laba emisioa gertatu eta ordu gutxi beranduago ailegatu ziren; *Barbakoa* izena ipinitako erupzio gunera ailegatu orduko fauna hidrotermal guztia kiskalita zegoen eta zoritxarrez laba isurkorra mugimenduan ikusteko beranduegi izan zen.



Nautila urpekontzi frantseza lanean (Argzk. T. Juteau).



Sumendi axial baten alpe maldatsuetan (50° malda) isuritako kuxin-laba frontea (Argzk. T. Juteau).

Laugarren zatian, azkenekoa, Thierry Juteauk ozeano-gandorreko iharduera hidrotermala kontrolatzen dituzten prozesu geologikoak deskribatzen ditu. Ingurune honetan lurrazal ozeaniko gaztearen barruan itsas uraren konbekzio indartsua gertatzeko baldintza ezin hobek biltzen dira: gai fluido bukaezina (itsasoko ura), haustura bitarteko iragazkortasun handia eta gradiente geotermiko oso altua, azken hau ozeano hondoa (0°C) eta ganbara magmatiko beroen (1200°C) arteko hurbiltasunagatik eraginta. Itsasoko ura lurrazal ozeanikoaren barrutik egindako ibilbidetik zehar ur hidrotermal azidora eraldatzen da; ur azido bero hau (> 400°C) Fe, Cu eta Zn sulfuro polimetalikoetan aberasten da. Fluido hau emari izugarri handiarekin ozeano hondora irtetzen da sulfuroez osatutako zama askatuz; hauek modu masiboan hauspeatzen dira *black smoker* tximiniak eraikiz. Denborarekin, iharduera hidrotermal honek milioika tonako metakin metalikoak sortzen ditu, dudarik gabe **etorkizuneko metal hobiak** izango direnak.

70. hamarkadaren bukaera arte *puntu bero* hauen inguruan bildutako ekosistema guztiz ezezaguna zen. *Black smoker*-en aurkikuntzatik gaur egun arte 400 espezie berri baino gehiago aurkitu izan dira. Tutu txuri batzuen barruan bizi diren zizare erraldoiak eraikitako zelaietan, *clams* eta gasteropodo koloniak bakteria anaerobiko eta kimiotrofokoekin batera sinbiosian bizi dira. Aipatutako bakteriak CO₂ eta gatz elikagarriak erabiliz, H₂S eta CH₄ eraldaketan askatutako energiakin batera, molekula organikoen sintesia egiten dute. Bestalde, aske bizi diren ehundaka espezieentzat (karramarroak, ganbak, arrainak, olagarroak,...) hondoan eta tximinietako hormetan finkatutako organismoak elikagai iturri bihurtzen dira.

Sakoneko ekosistema hauen aurkikuntzak bizitzaren sorrerari buruzko arazo liluragarri berriak zabaldu ditu. Fumarola beltzek eskeinitako baldintza naturalak bizitza sortzeko egokiak direla garbi erakutsi dute, horrela aurkitutako *Archeabakteriak*, ARN guztiz primitiboa daukatenak hain zuzen, hipotesi hau baieztatu dezakete.



Pogonoforos riftia zizare zelaia (Ozeano Bareko gandra ; Argzk. T. Juteau)

Les volcans sous la mer

La Sept Arte telebista kateak eta *Institut Ifremer-ek* ekoiztutako « *Sumendiak itsas-azpian* » pelikulan, *Atlante* itsasontzi frantsezan garatutako misio ozeanografiko europearra azaltzen da. Itsasontzi honek, *Nautilo* urpekontzia daramala, Erdi-Atlantikoko ozeano-gandorraren haran axialean kokatutako zona hidrotermal aktibo baten aurkikuntza burutzen du. *Alvin* urpekontzia daraman itsasontzi ipar-amerikar bat zona berbera ari da esploratzen...pelikularen une hunkigarriena bi urpekontziak batera urperatzen diren momentuarekin dator, biak batera 3000 metro sakonera azpitik europarrak aurkitu berri izandako *black smokers* zelai ginetik mugitzen direnean.