

# Petrologia eta mineralogiaren erabilera zeramika arkeologikoen azterketan

*Maria Cruz Zuluaga Ibargallartu\**

*Luis Angel Ortega Cuesta\**

*Francisco José Larrea Bilbao\**

*Carlos Olaetxea Elozegi\*\**

\*Mineralogia eta Petrologia Saila  
Euskal Herriko Unibertsitatea/Zientzi Fakultatea  
P.K. 644, 48080 BILBAO

\*\* Aranzadi Zientzi Elkarte  
Alto de Zorroaga  
20014 DONOSTIA

**Laburpena:** Arazo arkeologikoei irtenbideren bat aurkitzeko erabiltzen diren teknika fisiko-kimikoen multzoari Arkeometria deritzo. Zeramika arkeologikoen ikerketetan, alde batetik, teknologiar buruzko informazioa lortzeko erabiltzen dira eta bestetik, zeramikak egiteko erabiltzen diren lehengaien jatorriari buruzko datuak ateratzeko. Beraz, lan honetan aurkeztuko diren analisi-metodoak dira xafla mehearen petrografia eta x izpien difrakzioa, alegia, geologia arloko oinarrizko metodoak. Ikerketa-metodo hauek, buztin zeramikoen bai iturburuari buruzko bai manufaktura teknikarekin loturiko alderdiei buruzko informazioa eman dezakete. Mikroskopiaoren bidez zeramika arkeologikoen osagaiak eta hauen ehundurak ikusiz, argibideak atera daitezke zeramika-gintzari buruz eta aldeko kasuetan buztinen iturburuari buruz. X izpien difrakzioak erreketan gertatzen diren aldaketa mineralogikoak kontuan hartuta (mineral batzuen ezegonkortzea eta desegitea eta beste batzuen neoformazioa), erreketen-tenperatura zein izan den ondoriozta daiteke.

## SARRERA

Arkeometria esaten zaion diziplinaren barruan zeramika arkeologikoen karakterizazioa sartzan da. Termino hau, 1958.ean *Archaeometry* aldizkariaren lehenengo atala argitaratu zenean sortu zen. Arkeometria deritzo arazo arkeologikoei irtenbideren bat aurkitzeko erabiltzen diren teknika fisiko-kimikoen multzoari. Oinarrizko hiru esparrutan erabiltzen da: 1) aztarnategi arkeologikoak mugatzeko bide geofisikoak erabiliz, 2) datazio

absolutu edo kronometrian eta 3) materialen iturburuaren aurkikuntzan eta karakterizazioan [1].

Ikerketa zeramikoen helburua da bi motatako galderei erantzutea: (1) teknologiarri buruzko informazioa lortzeko buztina eta *gai trinkogarriak* lantzeko moduekin erlazionatuta daudenei, eta (2) zeramikak egiteko erabiltzen diren lehengaien jatorriari buruzkoei.

Material arkeologikoen egiteko eran eta iturburuaren kokapenean azterketa mineralogiko eta petrografiakoek duten garrantzia azpimarratzea da lan honen helburua.

## **IKERKETA-METODOAK**

Lan honetan aurkeztuko diren azterketa-metodoak xafla mehearen petrografia eta x izpien difrakzioa dira, geologia arloan eta zehazki mineralogian eta petrologian, bestalde, oinarrizko metodoak direnak. Bi teknika hauei esker aztertutako zeramiken osiera mineralogikoa ezagutu ahal izango da. Metodologia honek informazioa eman dezake buztin zeramikoen iturburuari buruz eta manufaktura-teknikarekin lotutako beste alderdi batzuei buruz. Mikroskopioaren bidez ikusitako ehunduraren alderdiak (pikoren eitea, tamaina, porositatea, mineral batzuen orientazioak) zeramikagintzari buruzko hainbat galdera erantzun ditzake. Kasu batzuetan, berariaz jarritako mineralen agerpenak buztinaren iturburua iradoki dezake. X izpien difrakzioa, alde batetik, petrologiaren teknika osagarria da, mineralogiaren ezagueran, eta bestetik, erreketa-tenperaturari buruzko informazioa eman dezake. Izan ere, erreketan aldaketa mineralogiko ugari gertatzen dira, mineral batzuen ezegonkortzea eta desegitea (adibidez, karbonatoena) eta beste batzuen neoformazioa (adibidez, gehlenita, mullita, diopsido, wollastonitarena). Eraldaketa hauek guztiak temperatura-tarte mugatuetan gertatzen direnez, zenbait mineralen egote-ezegoteak erreketa-tenperatura minimoen adierazleak dira.

Hala ere, bi teknika hauek balioztatu baino lehen aztertuko diren materialak ezagutu behar dira, kasu honetan, zeramika arkeologikoenak.

## **ZERAMIKA ARKEOLOGIKOEN OSAGAIK**

Zeramikak, gizakiak aurkitutako lehen material sintetikoak dira, alegia, buztinaren erreketa sorturiko harri artifizialak. Jatorrizko materialen propietate fisiko-kimikoak aldatzeko eta substantzia berriek harrien ezaguerriak eduki ditzaten, erreketa-temperaturek nahiko altuak izan behar dute [2].

Erabilitako materiala, gai plastikoen (buztin-mineralen) eta gai ez-plastikoen proportzio aldakorren nahasketa da. Nahasteak bereizgarri fisiko jakin batzuk izan ditzan ez-plastikoak diren mineral zati hauek buztinekin naturalki batera azal daitezke, edo bestela, berariaz gainera daitezke. Hone-la, bi buztin mota lortzen dira: buztin landugabe edo gordinak (*gai trinkogarri* naturalak dituztenak) (1A eta 1B irudiak) eta buztin landuak (gaineratutako *gai trinkogarriak* dituztenak) (1C eta 1D irudiak).

*Gai trinkogarriak* naturalak edo berariaz gaineratuak izateak hasieratik argitu behar den arazoa da, analisisien emaitzak mugatzen baititu. Izan ere, analisisien helburua eltzegileak buztina nondik hartzen zuen jakitea bada, analisi-datuak interpretatzerakoan kontuan hartu behar dira buztinari berariaz gaineratuko elementuak. Berariaz gaineratutako elementu hauek erabat desberdina den testuinguru geologiko batetik etor daitezke, eta beraz, erabat okerreko interpretazioei bide eman [3].

Bestalde, batzuetan ez da erraza jakitea mikroskopia petrografikoaren bidez behatutako material ez-plastikoak (*gai trinkogarriak*) gaineratuak edo buztinarenak berarenak diren. Hala ere, badaude *gai trinkogarriak* berariaz gaineratuta izan diren jakiteko irizpideak.

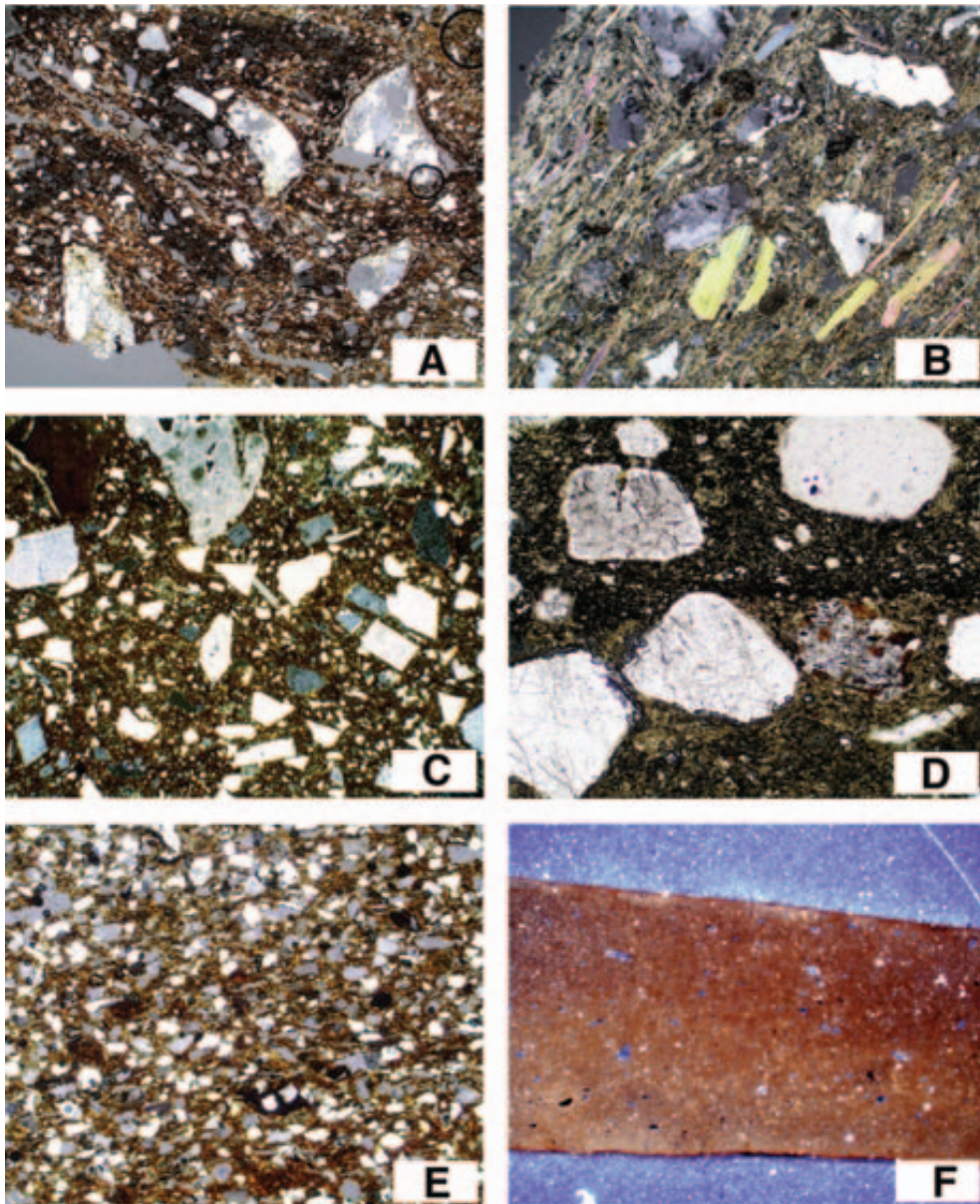
Are gehiago, zeramikagileak *gai trinkogarriak* ken ditzake buztin garbiagoa lortzeko, adibidez, piezak egiteko tornua erabiltzerakoan. Honela, buztin landuak eta purgatuak egiten dira (1E irudia). Kasu honetan zeramikaren osaera kimiko-mineralogikoa jatorrizko buztinena ez bezalakoa izaten da [4].

Aipatutako purgatzea, horretarako propio eraikitako baltsetan egiten da, dekantazio-sistema baten bidez. Kasu honetan dekantatutako buztinak deritzonak izango dira eta dekantatutako zeramikak emango dituzte (1F irudia).

Buztin mota hauek guztiak pasta zeramikoen azterketa petrografikoen bidez erraz igar daitezke, eta beste analisi-teknika batzuen bidez nekez ikus daitezke.

## **Buztina**

Buztina buztin-mineralez eta mineral ez-buztintsuez osaturik dago [5]. Buztin-mineralak tamaina txikiko ( $< 2\mu\text{m}$ ) aluminiozko silikato urdunak dira [6] [7]. Ezaugarri hauek, plastikotasuna, uzkurtze-ahalmena eta kohesioa ematen dizkiete. Plastikotasunak eragiten du buztinak moldatutako itxura mantentzea eta erreketaren ondoren gordetzea. Plastikotasunaren propietatea izaten dute ur kantitate bat xurgatu duten substantzietan, apurtu gabe deformatu eta hartutako forma mantentzeko gai badira. Buztina lehortutakoan deformatzeko aukera eteten da eta gogor eta hauskor bihurtzen da [8].



**1. irudia.** Buztin zeramikoak lantzeko era ezberdinak. (A eta B) Buztin landugabe edo gordinak, *gai trinkogarri* naturalak dituztenak; (A) Mendandiako arkeologi aztarnategia, Treviño, Neolitiko Aroa eta (B) Gazteizko Erdi Aroko hiriguneko aztarnategia, Behe Erdi Aroa. (C eta D) Buztin landuak, gaineratutako *gai trinkogarridunak*; (C) gaineratutako *gai trinkogarriak karbonatuak* direnean (Mendandiako aztarnategia) eta (D) gaineratutako *gai trinkogarriak hareak* direnean (Irun, Erromatar Aroa). (E) Buztin landuak eta purgatuak (Castillo de Henayo aztarnategia, Dulantzi, I Burdin Aroa). (F) Dekantatutako buztinak (Irun, Erromatar Aroa).

Gaingiroki, lau buztin talde nagusi bereiz daitezke: kaolinitaren taldea, illitaren taldea, kloriten taldea eta montmorilloniten taldea [4] [6] [7]. Talde hauek osaera kimiko desberdinak dituzte, eta hala ere, denek dute ur apur bat xurgatzeko gaitasuna. Xurgatutako ura pasta zeramikoaren bolumenaren %18-25a izaten da eta lehortzean ur hau lurrunduz joango da pasta zeramikoaren bolumena txikiagotuz.

### ***Gai trinkogarriak (mineral ez-buztintsuak)***

*Gai trinkogarriak*\* bi mikra baino tamaina handiagoan azaltzen dira (> 2µm) eta buztinetan naturalki agertzen direnak hurrengo hauek dira: kaltzita, dolomita, kuartzoa, mikak, pirita, feldespatok, igeltsua, eta abar, hauetaz gain mineral anitzeko zatiak edo mota ezberdinetako arroken zatiak ere.

Berariaz gaineratutako *gai trinkogarrien* kantitateak buztinak xurga dezakeen ur kantitatea inbertsoki baldintzatzen du. Hau da, zenbat eta gai ez-plastiko (*gai trinkogarri*) gehiago gaineratu buztinari, orduan eta bolumen-murritzeta txikiagoa izango du lehortzean eta erreketan, eta alderantziz. Horregatik, buztin-mineralekin soilik egindako zeramikak sarritan apurtzen ziren. Osagai ez-plastikoei, berriz, desabantailak dakartzate: zeramiken porositatea eta hortaz, iragazkortasuna handitzea.

Eskuarki, buztinak mineral ez-buztintsuak izaten dituzte baina zeramikagileek zati ez-plastiko gehiago gaineratzeko beharra izan dezakete, adibidez, hareak edo txikitutako harriak, txamota zatiak (aurretiko zeramikak) edo materia organikoa (txikitutako hezurak, maskorrak, landare zatiak, ikatzak, eta abar) bezalakoak.

Bestalde, sukalde-zeramikan (janaria prestatzeko tresnak egiterakoan) *gai trinkogarrien* tamaina funtsezkoa da eta eragina du talka termikoan, zeren eta *gai trinkogarrien* kantitatea handitzen bada, porositatea handiagoa izango da eta poroak, zeramikek talka termikoaren ondorioz gerta daitekeen pitzatzea galarazten dute.

Zeramikariak, sukalde-zeramika hauetarako erretako buztinaren antzeko hedapen termikoa duten *gai trinkogarriak* aukeratu behar ditu, adibidez, kaltzita, plagioklasa eta beste mineral astun batzuk. Kuartzoa, ordea, ez da gomendagarria ontzi hauetarako, hedapen termikoaren indizea altuegia duelako [9] [10].

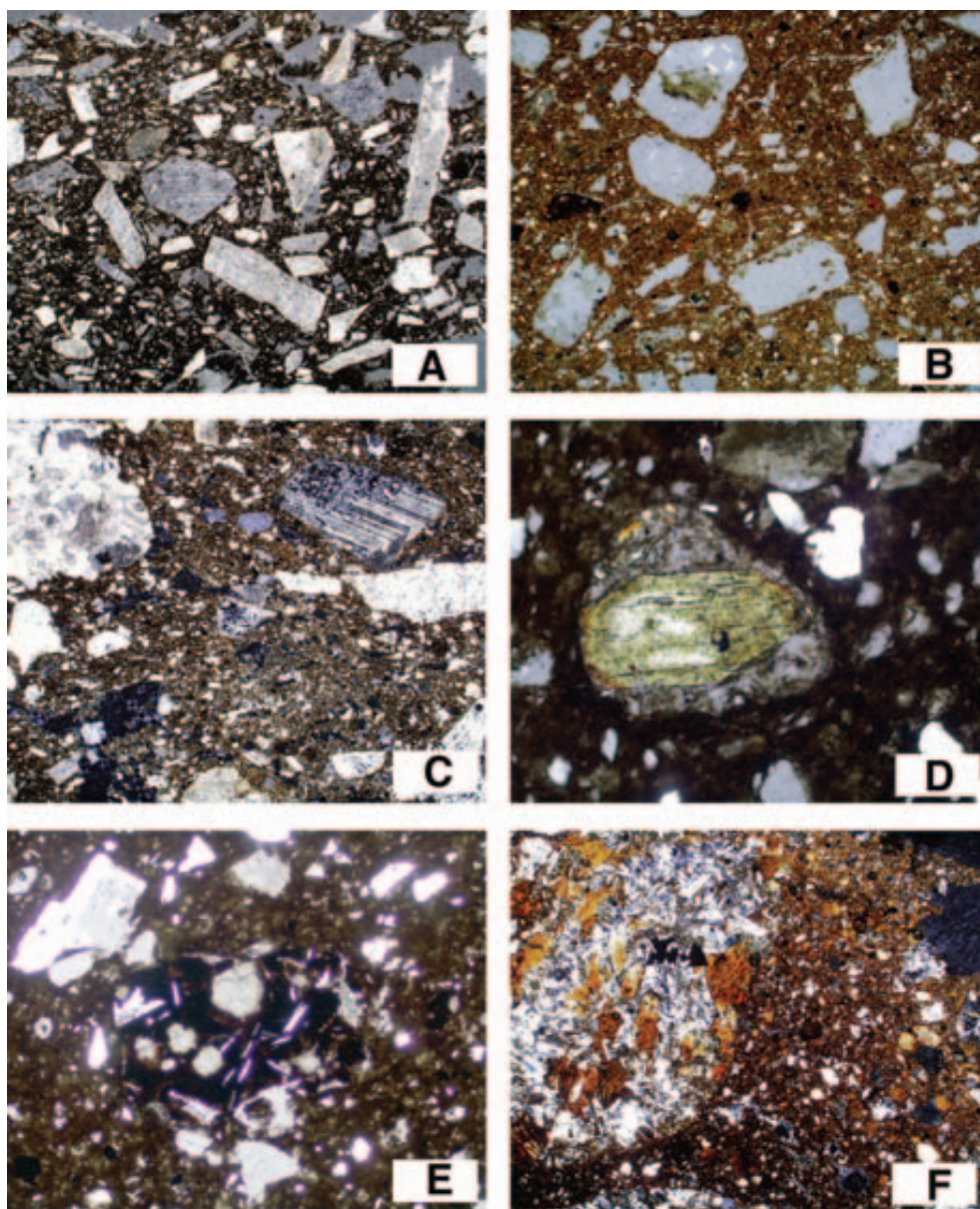
---

\* Ondoko hauek dira termino honen ordainak beste hizkuntza batzuetan: temper (Ingelesean), desgrasante (Frantsesean), desgrasante (Gaztelaniaz).

*Berariaz gaineratutako gai trinkogarriak*

Zeramikagileek berariaz gaineratutako *gai trinkogarrien* artean hurrengoak aipatu behar dira. Elementu bakoitzari buruz adin ezberdinetako aztarnategi arkeologikoen kasu jakin batzuk eskainiko dira adibide modura:

- Kaltzita**, sukalde-zeramikak egiteko gai trinkogarri egokiena da eta haren erabilera hainbat garai historikotan zabaldua dago (2A eta 2B irudiak). Honek pasta zeramikoaren maneiua erraztu eta tamaina handiko piezak egitea ahalbidetzen du. Bestalde, piezak laberatutakoan ez da pitzadurarik sortzen, hedapen termikoan buztinaren antzeko jokabidea duelako. Halaber, bero-eroale bikaina denez, oso egokia da janaria prestatzeko erabiltzen diren zeramiketarako. Hala ere, desabantailak ere baditu: tenperatura batzuetatik gora (desberdinak autoreen eta erreketak baldintzen arabera) kaltzitaren deskonposizioa gertatzen da, CaO-ra eta CO<sub>2</sub>-ra eraldatuz. CO<sub>2</sub> hau, gas eran dagoenez, pitzadurak sor ditzake masa zeramikotik kanporatzen denean. Gainera, atmosferako ur-lurrunarekin CaO-aren berhidratazioak Ca(OH)<sub>2</sub>-a sortzen du, zeinen kristalek CaO-renak baino handiagoak direnez, piezaren pitzadura eragiten duten [11]. Kaltzita berariaz jarrita dagoenean, erraz bereizten da, erronboedro formako kristaletan agertzen baita. Hauek kaltzita zati handiak birrintzean azaltzen dira eta nekez agertzen dira itxura hauekin sedimentuetan.
- Hareak**, batez ere kuartzo eta proportzio txikiagoetan feldespatoz osaturik daude (2C irudia). Hainbeste kuartzo dutenez, ez dira oso egokiak sukalde-zeramikak egiteko, mineral honen hedapen termikoa dela eta. Edonola, oso gai trinkogarri ona da buztinari trinkotasun handiagoa emateko, eta honela, tamaina handiko piezak egin ahal izateko. Bestalde, naturan buztinaren eta harearen nahasketa oso arrunta denez, zaila egiten da gai trinkogarri hau nahita gaineratuta ote dagoen jakitea. Edonola, kuartzo-aleen ugaritasun handiegiak agerian uzten du gizakiak gaineratua dela.
- Arroka zatiak**, arroka-aldaera zabal batekin osaturik daude eta hauen artean hurrengoak aipatuko ditugu:
  - Kareharria*, batez ere kaltzitaz osaturik dagoenez, kaltzitaren antzeko portaera du. Kaltzitaren erabilgarritasunaren arabera, honekin batera edo bakarrik erabiltzen da (2C irudia). Gai trinkogarri hau berariaz dagoen ikus daiteke zatiek ertz asko dituztenean eta kasu batzuetan fosil-aztarnak izaten dituztelako.
  - Arroka bolkanikoak*, nahiz eta ohiko gai trinkogarriak ez izan eta bulkanismoa gertatu den eskualdeetara murriztuta egon, Burdina Aroko zeramika batzuetan aurkitu dira (2D eta 2E irudiak). Kasu honetan berariaz gaineratu dira, buztinari trinkotasuna ematearren.



**2. irudia.** Berriaz gaineratutako gai trinkogarri mota desberdinak. (A) Kaltzita zatiak (Castillo de Henayo arkeologi aztarnategia, Dulantzi, I Burdin Aroa). (B) Kaltzitarekin disoluzioaz sortutako mamuak (Moru aztarnategia, Elgoibar, Burdin Aroa). (C) Kareharri eta kaltzita zatiak (La Hoya, Araba, Brontze Aroa). (D eta E) Arroka bolkanikoen zatiak, (D) Berirazko matrize batean piroxeno bat ikus daiteke/ ageri da (Moru aztarnategia, Elgoibar, Burdin Aroa). (F) Ofita zati bat (Sansol aztarnategia, Muru Astrain, Nafarroa, Burdin Aroa).

*Ofitak*, arroka igneoen zatiak dira eta Euskokantauriar Arroaren tes-  
tuinguru geologikoan adin Triasikoko material buztintsuarekin bate-  
ra agertzen dira (2F irudia). Mikroskopia petrografikoaren bidez oso  
erraz bereizten dira, piroxeno eta plagioklasaz osaturik daudelako.  
Zeramika askotan ofitak Jacinto de Compostela izeneko kuartzo au-  
tigenikoekin batera agertzen dira (3A irudia). Gainera, arroka zatiak  
izanik, ertz askoko geometria izaten dute. *Gai trinkogarri* hauek,  
argi eta garbi, inguru geologikoaren araberakoak dira eta buztinaren  
iturburuari buruzko informazioa ematen dute.

*Harearriak*, kuartzoz eta feldespatoz osatutako arrokek dira, eta be-  
raz, haren jokabidea dute. Hortaz, berariaz gaineratzeko arrazoi  
bera egon bide da (3B irudia).

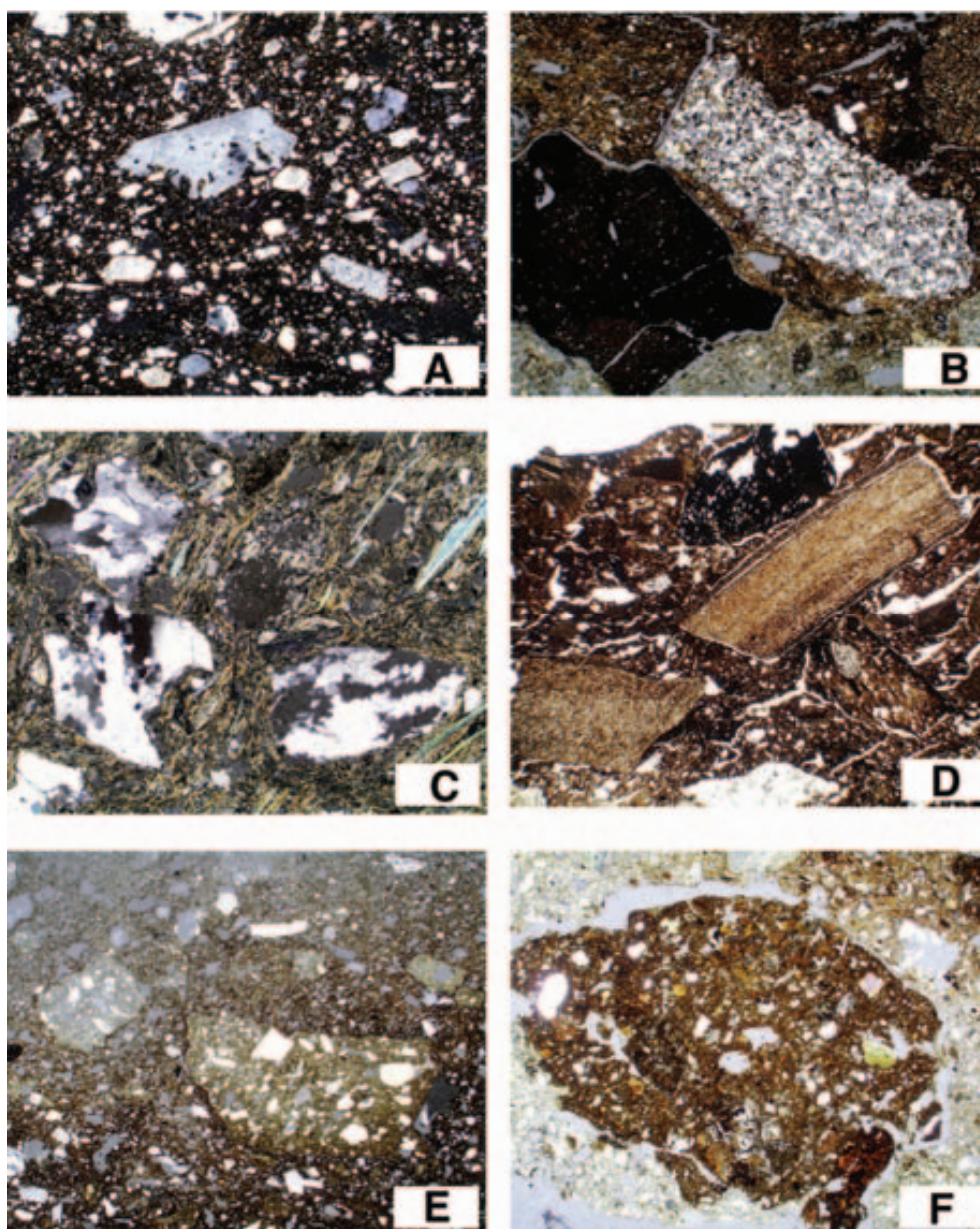
*Kuartzitak* eta *filitak*, Euskokantauriar Arroan banaketa mugatua  
duten arroka metamorfikoak dira; hortaz, iturburu-adierazleak izan  
daitezke (3C, 3B eta 3D irudiak). *Gai trinkogarri* moduan berariaz  
gaineratzen zaizkio buztinari trinkotasun handiagoa emateko eta ho-  
nela, tamaina handiagoko piezak egin ahal izateko. Gai trinkogarri  
hauek erabiltzen dira eta ez lehenago aipatutako beste batzuk, duten  
erabilgarritasunagatik.

—*Txamota*, aipatu den bezala, lehenago erretako zeramika zatiak era-  
biltzen dira, behin birrinduta, *gai trinkogarri* modura (3E eta 3F iru-  
diak). Txamotaren agerpenak, teknologia-ezaguera aurreratua irado-  
kitzen du, erakusten duen hedapen termikoaren indizeak laboratuko  
den zeramikarena bera delako eta honela ez du sortuko inolako ara-  
zorik ez erreketan, ezta beranduago sukalde-zeramika bezala erabil-  
tzerakoan ere. Hala ere, kasu askotan oso zaila da xafla mehean  
ikusten direnak gaizki oratutako buztinaren pikorretatik edo argilita  
bezalako arroka zatietatik bereiztea. Dena den, txamotak bereizteko  
irizpideak badaude: (i) barne-mikroegiturako poro eta aleen lerroka-  
durak eta (ii) txamota zatien xafla mehean zeharreko antolamendu  
uniformea.

—*Landare-gai trinkogariak*. Erreketan, aztarnak bakarrik geratzen  
direlarik, ia guztiz desagertzen dira. Berariaz gaineratutako landare-  
-*gai trinkogarri* hauek porositate handiko zeramikak eman arren,  
barnealdea iragazkaiztu egiten bada, oso egokiak izaten dira janariak  
egosteko. Batzuetan *gai trinkogari*en nahasketa honekin bilatzen  
dena da erreketan karbono-kontzentrazio handiko pasta lortzea da  
(zeramika beltzak). Kontzentrazio honek, ontzien paretetan txerta-  
tzen bada, karbonoaren ihesa eragotziko du erreketan, eta ondorioz,  
ontziak iragangaitz bihurtuko ditu.

—*Beste gai trinkogarri batzuk*. Bibliografian berariaz gaineratutako  
gai trinkogarien artean beste material batzuk ere aipatzen dira, baina  
gertuko eskualde-inguruko zeramika arkeologikoetan ez dira aurkitu  
ordea: oskolak (fosilak ez direnak), hezurak eta abar.





**3. irudia.** Berariaz gaineratutako gai trinkogarri mota desberdinak. (A) Jacinto de Compostela izeneko kuartzo autigenikoa (Peñas de Oro aztarnategia, Vitoriano, Araba, Brontze-Burdin Aroa). (B) Hareaharri eta filita zatiak (Monte Aguilar aztarnategia, Errege Bardea, Nafarroa, Brontze Aroa). (C) Milonitizatutako kuartzita zatiak (Gazteizko Erdi Aroko hiriguneko aztarnategia, Behe Erdi Aroa). (D) Filita zatiak (Monte Aguilar aztarnategia). (E eta F) Lehenago erretako zeramika zatiak (txamotak), (E) Mendandiako arkeologi aztarnategia, Treviño, Neolitiko Aroa, eta (F) Santa Maria de Tolosa, Tolosa, Brontze Aroa.

## **ZERAMIKA ARKEOLOGIKOEN ERREKETA ETA BERORREN ERAGIN TEKNOLOGIKOAK**

Buztinak zeramiken propietate bereizgarriak har ditzan, egindako zeramiken erreketak, behar den denboran behar den besteko tenperatura ezartzean datza. Eraldaketa hauen ondorioz plastikotasuna galtzen da eta beraz, kohesio iraunkorra eragiten da. Hori dela eta, material berria uraren aurrean jasankor eta mekanikoki hauskaitz bihurtzen da.

Zeramika-teknologiaren ikertzaileei betidanik interesatu zaien arazoa da erreketak-tenperatura. Baina sinplifikazio gehiegi dago: erreketan lortutako tenperatura oso altua denean, zeramikagileek teknologia aurreratuagoa dute antza. Okerreko ideia honi sarritan lotu zaio zeramika-oxidatzaileak egiten dutenak zeramika-teknologian erreketak-kontrolari dagokionez fase aurreratuagoan daudela. Honen arabera, zeramika ilunak (jeneralean erreduzitzailetzat hartzen direnak) zeramika landugabetzat edo eboluzio txikiagokotzat hartu izan dira. Izan ere, kontrol handiagoak esan nahi du ezaugarriak eta tenperaturak errepikatzeke gai izatea, eta halakorik ez da beti lortzen, garai goiztiarrean edo erdi arokoan gertatzen zen bezala.

Erreketak-tenperatura finkatzeak aldaketa mineralogikoaren eta tenperaturaren artean dauden erlazioak ezagutzea eskatzen du. Aldaketa hauek lehengaiaren osaera, erreketak-atmosfera eta prozesuaren iraupenaren arabekoak dira. Lehengaiaren gutxi gorabeherako osaera petrografiaren eta x izpien difrakzioaren metodoen bidez ezagut daiteke. Alabaina, zeramika arkeologikoen erreketak-tenperaturen zuzeneko kalkulua ez da inoiz posible izaten. Erreketak-atmosfera mota ezagutu arren, okerreko erreketak-tenperaturak proposa daitezke. Izan ere, mineral-fase batzuen egonkortze-galerak erreketak-atmosferaren arabekoak izaten dira; honela, kaltzita, baldintza oxidatzaileetan badago, 750° C inguruko tenperaturan deskonposatzen da errektzio honen bidez:  $\text{CaCO}_3 = \text{CO}_2 + \text{CaO}$  [12] [11].  $\text{CO}_2$ -zko atmosfera erreduzitzailean aldiz, egonkor mantentzen da kaltzita 1120° C-raino [11]. Autore batzuek, kaltzita tenperatura altuko mineralekin agertzen denean, metatu ondorengo berkarbonatazio prozesuak proposatzen dituzte [13] [14]. Eta kaltzitarene iraute hau erraz azal daiteke erreketak-atmosfera erreduzitzailean izan dela kontuan hartzen bada.

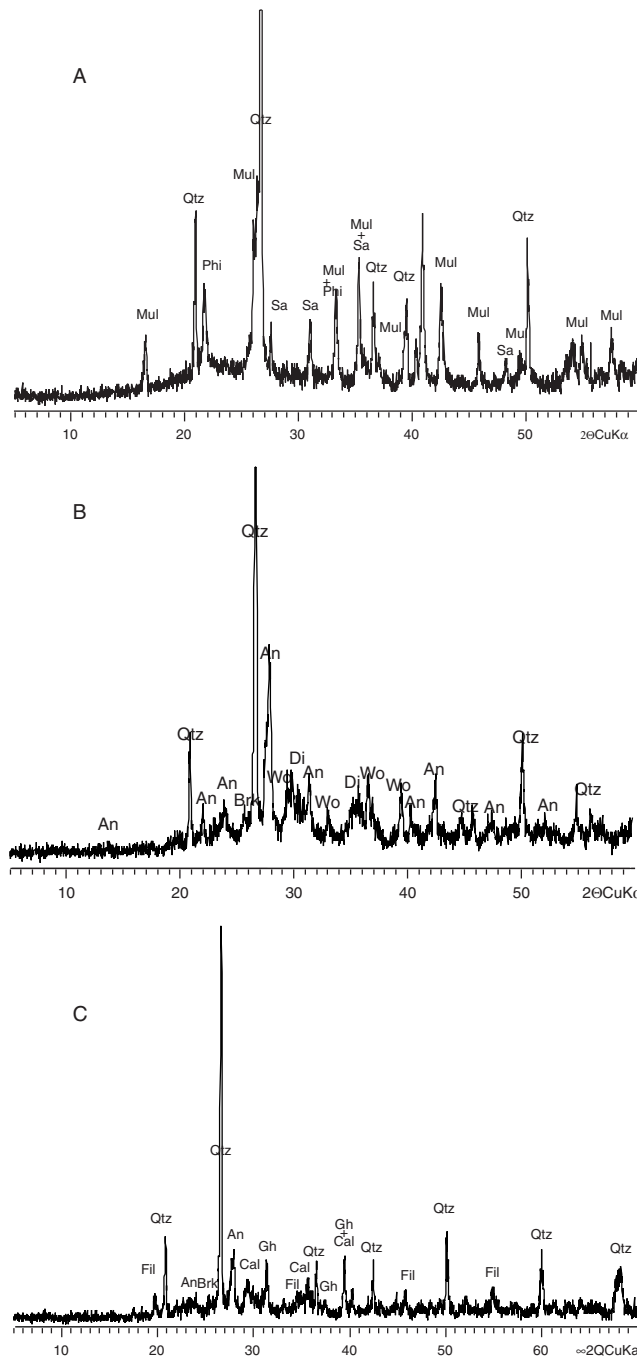
Teorikoki hiru erreketak-atmosfera mota daude: oxidatzailea, erreduzitzailea eta neutroa [4]. Azken hau oso zaila da lortzen ohiko metodoen bidez, eta beraz, benetako aukerak bi baino ez dira (oxidatzailea eta erreduzitzailea). Hala ere, arazoa ez da hain erraza, zeren erreketaren barruan kontuan izan behar baitira batzuetan erreketak bera eta ondorengo erreketak.

## **EZTABAIDA/ERABILERA**

Arkeometria zeramika arkeologikoen ezagueran oso tresna baliagarria da, arkeologoei zeramikak egiteko erabiltzen den teknologia ezagutzeari dagozkion abantailak dakarzkialako. Zeramika arkeologikoen ikerketan alderdi garrantzitsuenetarikoak dira buztin zeramikoen izaerari eta iturburuari buruzkoak. Material zeramikoen ikerketan petrografia ez erabiltzeak, pastak egiteko moduak ezagutzea eragozten du, eta ezin da jakin *gai trinkogarriak* berariaz jarrita dauden edota buztinak purgatuta dauden. Horregatik, x izpien difrakzioa eta geokimika bezalako beste azterketa-teknika batzuk erabiltzeak oso ezaugarri desberdinetako materialen bila eraman gaitzake, adibidez, karbonatoez oso aberatsak diren buztinen bila, karbonato hauek berariaz gaineratuta daudela pentsatu ordez.

Baina, materialen iturburua ezagutzeko *gai trinkogarrien* izaera, geometria eta proportzioak mugatzea, berez erabilgarritasun txikiagokoak dira. Horretarako, ezinbestekoa da arkeologi aztarnategia dagoen inguru geologikoen ezaguera sakona izatea, pastak egiteko erabil daitezkeen materialak probatu ahal izateko. Hala ere, informazio arkeologikoa inoiz ezin da baztertu, piezen joan-etorriak ugariak izan baitaitezke (adibidez, erromatar garaian). Batzuetan, adibidez, anhidrita eta igeltsuzko inklusiodun eta ertz zuzendun (ondo garatutako aurpegiak) kuartzoak dituzten zeramikak agertzen dira (3A irudia). Honelako bereizgarriak dituzten kuartzoak Keuper (Triasikoa) material diapirokoetan azaltzen diren buztin gorriekin batera agertzen dira. Ofitekin trinkotutako zeramikak dira beste adibide bat, eta arroka hauek ere badaude aipatutako buztin triasikoekin elkartuta (2F irudia). Kasu bietan lor daitezke buztin zeramikoen iturburuari buruzko datuak, petrografia erabiliz gero. Baina, zehaztu beharra dago iturburua ezin dela beti finkatu.

Zeramikagintzaren moduei dagokienez, petrografiak zeramika-manufakturari buruzko argibideak eskaini ditzake, landu gabeko edo landutako buztinen bereizketatik modelatze eta akabera erak bereizteraino. Alabaina, petrografiak, erreketari buruzko alderdietatik, erreketatzen atmosferatik harantzago ezin da joan eta erreketatzen tenperaturari buruzko datuak x izpien difrakzioaren bidez lortu beharko dira. Erreketan, zeramikak osatzen dituzten mineralen artean, batzuek egonkortasuna galtzen dute eta beste batzuk sortzen dira, eta aldaketa hauek guztiak tenperatura-tarte jakin batzuetan gertatzen dira. Honela, karbonatoak dira tenperatura-tarte baxuenetan egonkortasuna galtzen dutenak (700-900° C) eta beraz, hauen egote-ezegotek erreketatzen tenperatura minimoen adierazleak dira. Sortu berriak diren mineralen artean, besteak beste, gehlenita eta wollastonita (bakarrik karbonatodun zeramiketan) eta mullita (karbonato gabekoetan) ditugu (4. irudia) [15]. Gehlenita (erreakzio bakun honetatik illita + kaltzita = gehlenita + + kuartzo) eta wollastonita (erreakzio bakun honetatik kaltzita + kuartzo =



**4. irudia.** Erreketan sortutako mineralen difraktogramak. (A) 1100° C-tik gora erreta dagoen mullitadun zeramika (Irun aztarnategia, Erromatar Aroa). (B) 800° C-tik gora erreta dagoen wollastonita eta diopsidodun zeramika duen zeramika (Irun aztarnategia, Erromatar Aroa). (C) 800° C-tik gora erreta dagoen gehlenita duen zeramika (Gazteizko Erdi Aroko hiriguneko aztarnategia, Behe Erdi Aroa).

= wollastonita) 800° C-tik aurrera sortzen dira eta mullita (erreakzio bakun honetatik illita + kuartzo = mullita+sanidina) 1100° C-tik aurrera. Baina, antzinako labeetan 900° C-tik gorako tenperaturak ez ziren erraz lortzen; hortaz, tenperatura altuetan sortzen diren mineralak agertzen direnean erre-keta-teknologiaren kontrol handia iradokitzen dute. Zehazki, lan talde honek ikertutako erromatar zeramika batzuetan mullita aurkitu da.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] BUTZER, K.W. 1989. *Arqueología. Una Ecología del hombre: método y teoría para un enfoque contextual*. Bellaterra, Bartzelona.
- [2] RADO, P. 1990. *Introducción a la tecnología cerámica*. Omega, Bartzelona.
- [3] BISHOP, R.L., RANDS, R.L. eta HOLLEY G.R. 1982. «Ceramic Compositional Analysis in Archaeological Perspective». *Advances in Archaeological Methods and Theory* **5** 275-330.
- [4] ÉCHALLIER, J.C. 1984. Eléments de technologie céramique et d'analyse des terres cuites archéologiques. *Documents d'Archéologie Méridionales, Serie Méthodes et Techniques* **3**.
- [5] PICON, M. 1973. *Introduction à l'étude technique des céramiques sigillées de Lezoux*. Centre de recherches sur les techniques greco-romaines, Dijon, Frantzia.
- [6] KLEIN, C eta HURLBUT, C.S. 1997. *Manual de Mineralogía*. Editorial Reverté S.A., Bartzelona.
- [7] MOORE, D.M. eta REYNOLDS, R.C. 1997. *X-Ray Diffraction and the identification and Analysis of Clay Minerals*. Oxford University Press, New York.
- [8] GONZÁLEZ PEÑA, J.M. 1974. «Relación entre las características físicas del componente arcilloso y el comportamiento de las pastas cerámicas». *Estudios geológicos* **30**. 399-406.
- [9] RYE, O.S. 1981. *Pottery technology. Principles and reconstruction*. Taraxacum Inc. Manuals in Archaeology, Washington.
- [10] TITE, M.S. 1995. Firinf temperature determinations. How and why? *The aims of laboratory analyses fo ceramics in archaeology*. A. Lindahl eta O. Stilborg ar., Stockholm. 37-42.
- [11] WEST, A.R. 1999. *Basic solid state chemistry*. Willye &Son, Ltd., Chicheste.
- [12] DEER, W.A., HOWIE, R.A. eta ZUSSMAN, J. 1992. *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*. Longman, Essex, Ingalaterra.
- [13] ÉCHAILLIER, J.C. eta MERY, S. 1989. L'évolution minéralogique et physico-chimique des céramiques au cours de la cuisson. *Géologues*. **87/88**. 64-69.
- [14] SHOVAL, S., GAFT, M., BECK, P. eta KIRSH, Y. 1993. Thermal behaviour of limestones and monocryalline calcite tempers during firing and their use in ancient vessels. *Journal of Thermal Analysis*. **40**. 263-273.
- [15] CULTRONE, G., RODRIGUEZ-NAVARRO, C., SEBASTIAN, E, CAZALLA, O. eta DE LA TORRE, M.J. 2001. «Carbonate and silicate phase reactions during ceramic firing». *Eur. J. Mineral*. **13**. 621-634.