

# Una Arqueometria del Canvi Tecnològic: Producció i consum d'àmfores durant el canvi d'Era en la zona nord de la costa catalana

Llorenç Vila Socias

**ADVERTIMENT.** La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX ([www.tdx.cat](http://www.tdx.cat)) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

**ADVERTENCIA.** La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR ([www.tdx.cat](http://www.tdx.cat)) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

**WARNING.** On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX ([www.tdx.cat](http://www.tdx.cat)) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

**Departament de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia  
de la Universitat de Barcelona**

**Programa de Doctorat Ciències de l'Antiguitat (2003-2005)**

**Una Arqueometria del Canvi Tecnològic:  
Producció i consum d'àmfores durant el canvi  
d'Era en la zona nord de la costa catalana**

**Llorenç Vila Socias**

Tesi Doctoral presentada per optar al títol de Doctor en Història.  
Departament de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia de la  
Universitat de Barcelona

**Direcció de la Tesi Doctoral:**  
Dr. Jaume Buxeda i Garrigós  
Professor Agregat d'Arqueologia

A n'Alícia i na Noemi

The scientific method consists of the use of procedures designed to show not that our predictions and hypotheses are right, *but that they might be wrong*. It forces us to confront our self-justifications and put them on public display for others to puncture. As its core, therefore, science is a form of arrogance control.

**Tavris and Aronson, *Mistakes were made (but not by me)*, pp. 108, 2007**



# ÍNDIX

Índex.....	v
Agraïments .....	ix
Aclariments i llista d'abreviatures.....	x
Introducció general.....	1
<b>CAPÍTOL 1. Canvi social i tecnologia .....</b>	<b>9</b>
1.1    Preliminar .....	9
1.2    Tecnologia i canvi. Una perspectiva teòrica .....	10
1.2.1    Història, Sociologia i Filosofia de la ciència, la tecnologia i el canvi.....	10
1.2.2    Antropologia de la tecnologia .....	15
1.2.3    Etnoarqueologia. Tecnologia ceràmica en acció .....	21
1.3    Canvi tecnològic i Arqueologia .....	27
1.3.1    Models interpretatius de canvi tecnològic .....	27
1.3.1.1    La tecnologia ceràmica com a cultura arqueològica.....	27
1.3.1.2    El corrent processual.....	29
1.3.1.3    Tecnologia, metàfores i materialitat .....	35
1.3.1.4    Les eleccions tecnològiques i el model contextual .....	37
1.3.1.5    Estil i funció. El model evolucionista.....	41
1.3.1.6    El canvi tecnològic com a reflexe de la conducta.....	45
1.3.2    L'aportació de l'Arqueometria. Una aproximació necessària .....	56
1.3.2.1    Estat de la qüestió de la recerca arqueomètrica .....	59
<b>CAPÍTOL 2. Arqueometria del canvi tecnològic.....</b>	<b>75</b>
2.1    Preliminar .....	75
2.2    Proposta de model teòric.....	76
2.2.1    Justificació del model.....	76
2.2.2    La teoria de la dissonància cognitiva.....	78
2.2.3    Descripció general del model (ACT).....	82
<b>CAPÍTOL 3. Cas d'estudi: àmfores romanes al voltant del canvi d'Era .....</b>	<b>89</b>
3.1    Preliminar .....	89
3.2    Factors de situació polítics.....	90
3.3    Factors de situació econòmics .....	99
<b>CAPÍTOL 4. Les àmfores romanes a la Tarraconensis.....</b>	<b>105</b>
4.1    Preliminar .....	105
4.2    Precedents ontològics de la classificació tipològica .....	106
4.3    Els dissenys amforals.....	110
4.4    Treballs de síntesi .....	123
<b>CAPÍTOL 5. Els centres productors i els centres receptors .....</b>	<b>127</b>
5.1    Preliminar .....	127
5.2    Els centres productors.....	130
5.2.1    Una síntesi del marc geològic general.....	130
5.2.2    El centre productor de Can Notxa (Argentona).....	141

5.2.2.1	Individus caracteritzats .....	150
5.2.3	El centre productor d'El Mujal (Calella).....	151
5.2.3.1	Individus caracteritzats .....	155
5.2.4	El centre productor del C/ de Guillem de Palafolls (Malgrat de Mar) .....	157
5.2.4.1	Individus caracteritzats .....	162
5.2.5	El centre productor de Fenals (Lloret de Mar) .....	164
5.2.5.1	Individus caracteritzats .....	171
5.2.6	El centre productor del Collet de Sant Antoni de Calonge (Calonge).....	173
5.2.6.1	Individus caracteritzats .....	180
5.2.7	El centre productor de Llafranc (Palafugell).....	182
5.2.7.1	Individus caracteritzats .....	196
5.3	Els centres receptors .....	198
5.3.1	El centre receptor d'Iluro (Mataró) .....	199
5.3.1.1	Individus caracteritzats .....	203
5.3.2	El centre receptor d'Emporiae (L'Escala-Empúries) .....	206
5.3.2.1	Individus caracteritzats .....	208
5.3.3	El centre receptor de Palma (Ciutat de Mallorca) .....	210
5.3.3.1	Individus caracteritzats .....	212
	<b>CAPÍTOL 6. Tècniques i rutina analítica.....</b>	<b>214</b>
6.1	Preliminar .....	214
6.2	Anàlisi química per Fluorescència de raigs X (FRX).....	215
6.2.1	Rutina analítica.....	215
6.2.2	Preparació dels espècimens .....	219
6.2.2.1	Elements majoritaris i minoritaris. Perles.....	219
6.2.2.2	Elements traça. Pastilla.....	220
6.2.2.3	Pèrdua al Foc (PAF) .....	220
6.3	Anàlisi mineralògica per Difracció de raigs X (DRX) .....	221
6.3.1	Rutina analítica.....	221
6.3.2	Preparació dels espècimens .....	224
6.3.2.1	El mètode de pols.....	224
6.4	Microscòpia òptica sobre làmina prima (MO).....	225
6.4.1	Rutina analítica.....	225
6.4.2	Condicions del comptatge .....	226
6.4.3	Preparació dels espècimens .....	228
6.5	Microscòpia electrònica de rastreig (MER).....	229
6.5.1	Rutina analítica.....	229
6.5.2	Preparació dels espècimens .....	231
6.6	Propietats mecàniques.....	231
6.6.1	Resistència mecànica a la fractura.....	232
6.6.2	Resistència a la fractura Hertziana .....	236
6.6.3	Rutina analítica.....	238
6.6.4	Preparació dels espècimens .....	238
6.7	El Mètode d'Elements Finitos (MEF).....	239
6.7.1	Introducció.....	239
6.7.2	El MEF: Una aproximació a la complexitat real .....	240
6.7.3	L'avaluació d'un disseny ceràmic .....	243
6.7.4	Conceptes bàsics i formulació .....	245
6.7.5	Procediment en l'Anàlisi d'Elements Finitos (AEF).....	253
6.7.6	Camps d'aplicació .....	257
6.8	Tractament estadístic de dades composicionals.....	260

6.8.1	Les dades composicionals .....	261
6.8.2	La proposta d'Aitchison .....	266
6.8.3	Altres metodologies.....	269
<b>CAPÍTOL 7. Caracterització dels centres productors. Part I .....</b>		<b>274</b>
7.1	Preliminar .....	274
7.2	Caracterització química per FRX.....	276
7.2.1	Consideracions analítiques .....	276
7.2.2	Resultats i discussió.....	277
7.2.3	Síntesi del tractament estadístic.....	307
7.3	Avaluació de la variabilitat química .....	310
7.3.1	Remostreig aleatori d'individus .....	313
7.3.1.1	Experiment de remostreig aleatori I.....	316
7.3.1.2	Experiment de remostreig aleatori II .....	331
7.3.2	Estructura de la variació composicional.....	349
7.4	Característiques tecnològiques .....	357
7.4.1	Característiques composicionals .....	358
7.4.2	Temperatura de cocció equivalent (TCE).....	365
7.4.3	Inclusions no plàstiques.....	372
7.4.3.1	Àmfora Ibèrica.....	373
7.4.3.2	Àmfora Dressel 1 .....	378
7.4.3.3	Àmfora Laietana 1/Tarraconense 1.....	382
7.4.3.4	Àmfora Pascual 1.....	385
7.4.3.5	Àmfora Dressel 2-4.....	388
7.4.3.6	Discussió.....	391
7.4.4	Propietats mecàniques. Resistència a la fractura .....	395
7.4.4.1	Resistència a la fractura Hertziana ( $\sigma_H$ ) i resistència a la ruptura transversal (TRS): Comparació de resultats .....	395
7.4.4.2	Resistència a la fractura Hertziana.....	398
7.4.5	Conclusions .....	410
<b>CAPÍTOL 8. Caracterització dels centres productors. Part II .....</b>		<b>414</b>
8.1	Preliminar .....	414
8.2	Can Notxa (Argentona).....	415
8.2.1	Caracterització química .....	415
8.2.2	Caracterització mineralògica .....	423
8.2.3	Conclusions .....	426
8.3	El Mujal (Calella) .....	427
8.3.1	Caracterització química .....	427
8.3.2	Caracterització mineralògica .....	438
8.3.3	Conclusions .....	446
8.4	C/ de Guillem de Palafolls (Malgrat de Mar) .....	449
8.4.1	Caracterització química .....	450
8.4.2	Caracterització mineralògica .....	459
8.4.3	Conclusions .....	464
8.5	Fenals (Lloret de Mar) .....	465
8.5.1	Caracterització química .....	466
8.5.2	Caracterització mineralògica .....	474
8.5.3	Conclusions .....	480
8.6	Collet de Sant Antoni de Calonge (Calonge).....	482
8.6.1	Caracterització química.....	483

8.6.2	Caracterització mineralògica .....	493
8.6.3	Conclusions .....	506
8.7	Llafranc (Palafrugell).....	508
8.7.1	Caracterització química .....	508
8.7.2	Caracterització mineralògica .....	517
8.7.3	Conclusions .....	523
<b>CAPÍTOL 9. Simulació de càrregues (AEF) .....</b>		<b>528</b>
9.1	Preliminar .....	528
9.2	Identificació de les càrregues.....	530
9.3	Simulació I. Alçament per les nanses (envàs buit) .....	534
9.4	Simulació II. Alçament per les nanses (envàs ple) .....	538
9.5	Simulació III. Model d'estiba (càrrega estàtica en pivot).....	542
9.6	Simulació IV. Model d'estiba (apilament d'àmfores) .....	554
9.7	Conclusions.....	560
<b>CAPÍTOL 10. La distribució i el consum d'àmfores en els centres receptors.....</b>		<b>564</b>
10.1	Preliminar .....	564
10.2	PRODIFAN. Una visió general .....	569
10.3	Iluro (Mataró) .....	572
10.4	Emporiae (Empúries).....	577
10.5	Palma (Palma).....	580
<b>CAPÍTOL 11. Conclusions .....</b>		<b>583</b>
Bibliografia.....		594
ANNEX 1 .....		631 (DVD)
ANNEX 2 .....		708 (DVD)
ANNEX 3 .....		737 (DVD)

# AGRAÏMENTS

Hi ha casos d'articles publicats per diversos co-autors en què la contribució d'alguna de les parts és una entel·lèquia. Però és política acadèmica. Aquest és el cas contrari en què només hi ha un autor però que, en realitat, ha estat assistit per multitud de suggeriments, crítiques i millores d'altres persones. Per sobre de tots, el meu especial agraïment és per al director d'aquest treball, Jaume Buxeda i Garrigós. Més que agraïment li professo admiració per tantes coses que resulta ridícul concretar-ho en alguna. En l'àmbit acadèmic vull estendre el meu agraïment a totes les persones que han participat de la meva formació al llarg d'aquests anys i de manera especial als meus col·legues Javier Garcia Iñáñez, Marisol Madrid, Alexander Schwedt, Noemi Müeller, Vassilis Kilikoglou, Josep Maria Gurt, Miquel Àngel Cau, Evanthia Tsantini, Anno Hein i Verònica Martínez.

Dir que ningú és imprescindible és una gran fal·làcia. En aquest cas han estat veritablement imprescindibles tota la meva família extensa i de manera molt especial, na Noemi Prats i n'Andreu Picó, sense els què res hagués estat possible i, per tant, res hagués estat igual. En el mateix sentit, m'alegro de comptar amb l'amistat enriquidora de Ferran Tarongí, Dolors Domínguez i Tomàs Moré.

Aquesta tesi està dedicada a tots ells.

Finalment vull estendre el meu agraïment al personal dels Serveis Científicotècnics de la Universitat de Barcelona, així com a les institucions de les quals ha rebut suport financer per a desenvolupar aquesta recerca: Agència de Gestió d'Ajuts Universitaris i de Recerca de la Generalitat de Catalunya (AGAUR), Fundació Catalana per a la Recerca i la Innovació, Àrea de Coneixement i Recerca del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, Comissió de l'Agrupació de Recerca en Humanitats de la Facultat de Geografia i Història de la Universitat de Barcelona.

## ACLARIMENTS I LLISTA D'ABREVIATURES

Algunes de les produccions amforals del nostre estudi són datades d'un període anterior a l'any 27 aC, data en què s'estableix formalment la denominació d'*Hispania Citerior Tarraconensis* per al que abans era la província *Citerior*. Malgrat això ens referirem a totes les produccions d'aquest estudi com a àmfores de la *Tarraconensis*, a no ser que s'especifiqui el contrari.

Aquesta província arribà a assolir gairebé dues terceres parts de la península Ibèrica, des de l'extrem nord-occidental fins al sud-oriental, a més de les illes Balears. El terme *Tarraconensis* fa referència en el text, a no ser que s'especifiqui el contrari, a l'àrea entre la serralada pirinenca i el riu Dertosa, i la serralada Pre-Litoral i la Mediterrània, així com l'illa de Mallorca.

El taller del Roser, situat a Calella de la Costa (Maresme), també és conegut a la bibliografia com a Mujal o Toyca. En el nostre discurs farem servir la denominació: Mujal.

Ens referirem a les possibles variants tipològiques del tipus Dressel 1 (Dressel 1A, 1B, 1C, Tarraconense o *citerior*), simplement com a Dressel 1, a no ser que s'especifiqui el contrari.

Igualment, donada la falta d'acord pel que fa a la nomenclatura del tipus Laietana 1 o Tarraconense 1, hem decidit arbitràriament fer referència a aquest disseny amb el nom de Laietana 1/Tarraconense 1. Així mateix, ens referirem amb aquest terme a totes les seves possibles variants tipològiques (Tarraconense 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, Tarraconense 2/Fenals 1, Tarraconense 3).

Totes les Figures, així com les Taules més rellevants, en tant que faciliten l'exposició del discurs, es presenten al llarg del text. La resta de Taules es presenten en l'Annex 1 (DVD).

<b>AEF</b>	Anàlisi d'Elements Finites	<b>PAL</b>	<i>Iluro</i> (Mataró)
<b>An</b>	Anortita	<b>pg</b>	Plagiòclasi
<b>anl</b>	Analcima	<b>PLF</b>	C/ de Guillem de Palafolls
<b>ANN</b>	Activació Neutrònica de Neutrons	<b>ppm</b>	Parts per milió
<b>CAL</b>	Sant Antoni de Calonge	<b>px</b>	Piroxè
<b>cal</b>	Calcita	<b>qtz</b>	Quarts
<b>CMA</b>	<i>Palma</i> (Palma)	<b>s.n.m.</b>	Sobre el nivell de la mar
<b>Dr 1</b>	Dressel 1	<b><math>\sigma_f</math></b>	Resistència mecànica
<b>Dr 2-4</b>	Dressel 2-4	<b><math>\sigma_H</math></b>	Resistència Hertziana
<b>Dr 7-11</b>	Dressel 7-11	<b>TCE</b>	Temperatura de cocció equivalent
<b>DRX</b>	Difracció de Raigs X	<b>TRS</b>	Resistència a la ruptura transversal
<b>EMP</b>	<i>Emporiae</i> (Empúries)	<b><math>V_f</math></b>	Fracció per volum aparent
<b>FEN</b>	Fenals	<b><i>vt</i></b>	Variació total
<b>FRX</b>	Fluorescència de Raigs X	<b>Wo</b>	Wol·lastonita
<b>G4</b>	Gauloise 4		
<b>gh</b>	Gehlenita		
<b>G-I</b>	Greco-itàlica		
<b>hm</b>	Hematites		
<b>I<sub>c</sub></b>	Individu ceràmic		
<b>ill</b>	Il·lita-Moscovita		
<b>kfs</b>	Feldspat alcalí		
<b>L1/T1</b>	Laietana 1/Tarraconense 1		
<b>Lamb</b>	Lamboglia		
<b>LLA</b>	Llafranc		
<b>MEF</b>	Mètodes d'Elements Finites		
<b>MER</b>	Microscòpia Electrònica de Rastreig		
<b>MO</b>	Microscòpia Òptica		
<b>Mu</b>	Mullita		
<b>MUJ</b>	El Mujal		
<b>MVC</b>	Matriu de variació composicional		
<b>NTX</b>	Can Notxa		
<b>Ob74</b>	Oberaden 74		
<b>P1</b>	Pascual 1		





# INTRODUCCIÓ GENERAL

**E**l treball que presentem en aquesta tesi doctoral és fruit de la nostra incorporació, en primer lloc, a l'Equip de Recerca Arqueomètrica de la Universitat de Barcelona (ERAUB) i, posteriorment, al grup Cultura Material i Arqueometria (ARQ|UB). Concretament, la nostra recerca s'ha implementat en el marc del projecte “*Estudio arqueométrico y arqueológico de la producción y difusión de ánforas del nordeste peninsular durante los S. I a.C. – I d.C. (PRODIFAN)*” (BHA2003-04589), la finalitat del qual era millorar els coneixements existents sobre el procés de romanització en la província romana *Hispania Tarraconensis* a partir de la caracterització arqueomètrica dels primers envasos amforals de tipologia romana documentats al llarg del litoral i pre-litoral català.

El punt de partida del projecte era el procés històric que s'inicia a partir de la conquesta romana de la península Ibèrica, centrat en el procés de substitució de les estructures productives agràries ibèriques per les estructures romanes. Les dades provinents del registre arqueològic en contextos datats del voltant del canvi d'Era mostren com, al llarg de tot aquest procés, des de les estructures productives romanes s'impulsa una intensificació en la producció agrària destinada a la creació d'un excedent, el vi, amb la intenció d'exportar-ho a les províncies occidentals romanes. En aquest marc de canvi social i econòmic també es produeix un canvi que afectà al disseny dels envasos amforals; les tipologies amforals ibèriques, presents en aquests contextos abans de la conquesta romana, són substituïdes per diversos dissenys amforals de tradició greco-llatina que seran els emprats per al transport del vi produït a la província *Tarraconensis*. La producció en massa d'aquestes àmfores es fa palesa en més d'una cinquantena de centres productors documentats al llarg de l'actual costa catalana, així com per la seva important presència tant en els principals centres urbans (*Tarraco, Barcino, Baetulo, Iluro, Blandae, Emporiae*) i en altres centres consumidors allunyats de la zona de producció (*Lattara, Burdigalia, Vesunna Petrucoriorum, Narbo,*

*Lugdunum, Massalia, Pollentia, Palma*), com en un nombre important de derelictes (Illes Formigues, Cap Béar III, Ullastres, Culip I, Culip III, Culip VIII).

Entre els primers tipus amforals romans que apareixen en els contextos arqueològics del Litoral i Pre-Litoral català, en destaquen per la seva abundància el tipus Dressel 1, produït especialment al llarg de la primera meitat del segle I aC; el tipus Laietana 1/Tarraconense 1, produït entre el darrer terç del segle I aC i època augustal; i el tipus Pascual 1, que esdevé clarament el tipus més produït durant l'època augustal, i que perdurarà aproximadament fins època de Tiberi. Aquests tres tipus amforals varen ésser el principal objecte d'estudi del projecte PRODIFAN que va plantejar el seu estudi des d'una perspectiva diacrònica, en tant que s'interpreta una aparent substitució progressiva d'uns dissenys per uns altres, si bé també és cert que en alguns tallers es documenta una producció de diferents tipus amforals que sembla ésser sincrònica.

En el conjunt del projecte s'han caracteritzat a partir d'anàlisi química una dotzena de conjunts amforals procedents de centres productors i mitja dotzena recuperats en els principals centres urbans. Un objectiu era definir els grups de referència dels tallers o centres productors per tal de poder identificar la distribució de les seves produccions en els centres urbans i, d'aquesta manera, poder interpretar el paper jugat per aquests centres en relació a la dinàmica comercial (Buxeda *et al.* 2008). Una altra part del projecte contemplava, per primera vegada, un estudi tecnològic d'aquests envasos. La intenció era conèixer algunes de les conseqüències que, a nivell tecnològic, suposà el procés de romanització i el progressiu canvi de disseny en la producció amforal. És precisament en aquest marc d'estudi del canvi tecnològic en què es centra la nostra tesi doctoral.

En aquest treball entenem per tecnologia una pràctica social en el sentit que, no sols implica la producció i l'ús premeditat de materials i mètodes per manipular i controlar el món que envolta als éssers humans, sinó que també genera coneixement, estimula les interaccions que tenen lloc en qualsevol activitat i, per tant, dóna forma a les relacions socials, reafirmant i contestant les tradicions. A partir d'aquesta definició vàrem realitzar una sèrie de consideracions en relació a les primeres produccions amforals romanes que suscitaran el plantejament del seu estudi a partir d'una

arqueometria del canvi tecnològic. Una de les primeres consideracions que realitzarem és que, com ja hem apuntat, aquests envasos apareixen en un procés de canvis profunds que afectaren a diversos nivells de la societat i que, per tant, els patrons subjacents a la seva producció i consum poden ajudar a entendre millor aquests canvis socials. Expressat amb altres paraules, ens plantejem que, mitjançant l'estudi tecnològic d'aquests envasos, serà possible aproximar-nos i entendre de quina manera aquesta tecnologia interacciona amb la societat en la qual els processos de producció i consum hi tenen lloc.

La variació i el canvi en aquestes produccions amforals és clara a partir d'una simple observació del disseny dels envasos. En primer lloc és clar que els nous dissenys amforals de tipologia romana es diferencien clarament dels anteriors envasos de tipologia ibèrica de clara tradició púnica (veure Sanmartí *et al.* 2004; Tsantini 2007, i referències en els seus interiors). Aquestes diferències no sols són clares pel que respecta al seu disseny formal sinó també pel que fa a la fàbrica d'aquestes ceràmiques. Mentre que els tipus ibèrics segueixen una tradició d'elaboració de les àmfores amb unes parets relativament fines i una fàbrica relativament poc grollera, el que caracteritza els tipus romans és precisament tot el contrari; uns envasos amb unes parets relativament gruixudes i d'una fàbrica relativament grollera. Així mateix, també són clares les diferències en el disseny formal entre els tres primers tipus amforals romans. A partir d'aquestes observacions, i tenint present que les àmfores són un cas clar de ceràmica utilitària, entesa com una ceràmica que ha de complir amb uns requisits tècnics bàsics que li permetin complir la seva funció com a envàs de transport, ens preguntarem fins a quin punt la variació i els canvis que s'observen en el disseny i la fàbrica d'aquestes àmfores pogueren tenir conseqüències de tipus tècnic i fins a quin punt pogueren afectar, de manera rellevant, el seu rendiment com a envasos de transport. En cas de trobar diferències rellevants entre els diferents tipus amforals s'haurien de plantejar explicacions sobre els factors subjacents d'aquest canvi, i sobre com haurien afectat tant als processos de producció i ús, així com a les diferents percepcions que es tindrien d'aquests artefactes.

L'estudi de la ceràmica per tal d'inferir les possibles interaccions amb les persones que hi ha al darrere de la seva producció i consum requereix de la conjunció de

les ciències humanes i socials amb les ciències experimentals. Una de les àrees en què darrerament s'han generat els resultats més profitosos per a la disciplina arqueològica ha estat precisament en l'aplicació de tècniques desenvolupades inicialment des de les ciències experimentals en l'estudi de les relacions entre la producció ceràmica i el seu ús i consum. El principal objectiu d'aquesta recerca és entendre la manera en què els antics ceramistes varen produir les ceràmiques per tal que complissin amb una sèrie de característiques associades a la seva funció original, ja siguin ceràmiques de taula, materials de construcció, ceràmiques de cuina, envasos d'emmagatzematge o de transport. Aquesta aproximació a l'estudi de les ceràmiques ha rebut, tanmateix, una sèrie de retrets des del punt de vista teòric. D'una banda s'ha criticat la feblesa de la teoria arqueològica en molts treballs estrictament arqueomètrics (Dunell 1993; Jones 2004). D'altra banda, s'ha criticat que l'atenció de la recerca sobre els atributs tècnics relacionats amb el disseny i amb les característiques funcionals de la ceràmica privilegia les explicacions utilitàries del canvi en el disseny de les ceràmiques, en detriment d'altres possibles explicacions no-utilitàries; culturals, socials o simbòliques. Des de la nostra perspectiva, estem d'acord amb la primera crítica, però no creiem encertada la segona. Certament, la simple aplicació de tècniques analítiques experimentals a materials arqueològics dóna com a resultat, sovint, simples caracteritzacions dels materials en estudi amb una capacitat molt limitada per a la inferència històrico-arqueològica i que, difícilment, transcendeix a les interaccions entre persones i tecnologies. Però, de la mateixa manera, el fet de focalitzar en certa manera la recerca sobre el que s'ha anomenat la funcionalitat tècnica de la ceràmica (Schiffer i Skibo 1987) és conseqüència d'unes explicacions poc satisfactòries sobre les variacions que s'observen en els dissenys de les ceràmiques, especialment en els estudis amb perspectiva diacrònica. Una de les recerques desenvolupades des del projecte PRODIFAN s'ha centrat en les relacions entre el canvi de disseny en les tres primeres tipologies d'àmfora romana (Dressel 1, Laietana 1/Tarraconense 1, Pascual 1) i el canvi en el tipus de pasta argilosa emprada en la seva confecció, així com els factors tecnològics que es poden associar a aquest procés. Com es veurà al llarg de l'estat de la qüestió sobre l'estudi d'aquests envasos, abans d'aquest projecte era ben poc el que es coneixia dels factors tecnològics relacionats amb la producció d'aquests envasos i de les

relacions entre els canvis de disseny i els canvis tecnològics. Prèviament, la major part de les explicacions sobre la variació d'aquestes ceràmiques bé partien d'assumpcions que no podien ser testades, bé s'assentaven sobre explicacions simplistes de tipus social o cultural. Només després d'un gran nombre d'experiments i anàlisis ha estat possible visurar la complexitat del fenomen de les àmfores, de la seva producció i del seu consum. És a partir d'aquest moment quan podem començar a plantejar explicacions sobre les variacions i el canvi en la producció ceràmica amb un conjunt de principis contrastables sobre la relació entre les propietats tècniques i les característiques funcionals requerides per aquests envasos.

Ara bé, això no implica de cap manera que totes les variacions i els canvis en el disseny de les ceràmiques pugui ésser explicats únicament en funció de paràmetres tècnics o utilitaris; això no és així ni tan sols en el cas de ceràmiques clarament tant funcionals com les àmfores, com esperem que així quedi palès al llarg d'aquest treball. Tanmateix, des del nostre posicionament teòric considerem que les explicacions sobre els canvis de disseny en ceràmiques que emfatitzin els factors culturals, ideològics o simbòlics sense considerar en absolut els aspectes tècnics s'han de considerar immediatament com a mancades d'una part essencial. Des del nostre plantejament, participem de la idea que existeixen mètodes contrastables per avaluar els factors tècnics que es manifesten en les ceràmiques, fet que no succeeix, per exemple, ni amb els factors ideològics, ni amb altres factors socials, en absència de documentació textual vàlida. Per aquesta raó, s'entén que l'avaluació tècnica permet valorar més correctament els altres elements que podrien afectar els canvis en els processos de producció i de consum dels artefactes. D'igual manera entenem que els factors tècnics i, en sentit ampli, els processos de canvi tecnològic, no han de ser separats dels processos a través dels quals es generen, es mantenen i es suprimeixen les necessitats de consum, ja que és mitjançant les interaccions amb el món material quan les persones experimenten, generen i canvien els seus hàbits i necessitats. Sobre aquestes idees es planteja la nostra tesi doctoral.

El nostre posicionament teòric es fonamenta inicialment en el corrent de l'Arqueologia conductual (*behavioral archaeology*) de la qual hem manllevat i modificat diversos conceptes bàsics en la formulació del nostre model que anomenem

*Arqueometria del canvi tecnològic (ACT)*. Aquest model parteix d'una revisió crítica dels models explicatius del canvi tecnològic i, com argumentarem al llarg d'aquest treball, de la constatació d'un model subjacent que es fonamenta de manera recurrent en la dicotomia d'estímul-resposta; la modificació del disseny d'un artefacte resulta de l'intent premeditat d'acomplir una determinada funció. En la nostra opinió aquest resulta un esquema rígid, que no proporciona explicacions satisfactòries de processos molt més complexos i sense poder predictiu. La nostra proposta teòrica reformula aquest model en base a l'assumpció que la resposta està mediatitzada per diversos processos cognitius universals (fet avalat per una multiplicitat d'experiments originats en el camp de la Psicologia cognitiva i conductual). En base a aquesta idea, el model proposat es fonamenta en l'aplicació de la teoria de la dissonància cognitiva (Festinger 1957). Aquesta teoria suggereix que l'existència d'incompatibilitats entre diferents cognicions pot provocar un estat de tensió que l'individu tractarà de suprimir mitjançant diferents estratègies; entre d'altres, canvi de conducta, modificació de la importància real d'una cognició, o mitjançant una interpretació esbiaxada dels elements dissonants. Concretament, fonamentarem la nostra proposta en una reformulació d'aquesta teoria en termes de model de canvi tecnològic amb l'objectiu de resoldre problemàtiques arqueològiques en què la presa de decisions representa un procés essencial.

En aquest sentit, l'objectiu principal d'aquest treball és exposar i implementar un marc teòric i metodològic per abordar l'estudi del canvi tecnològic en envasos amforals. Així doncs, el principal objectiu que es planteja aquest treball és d'ordre ontològic —implementar un model teòric sobre el funcionament d'una part de la realitat— i epistemològic —plantejar l'aplicació d'uns mètodes per a analitzar aquest fenomen. O dit amb altres paraules, plantejar un marc a partir del qual generar coneixement arqueològic, en aquest cas, aplicat a un fenomen concret, però que, com esperem que quedi palès al llarg d'aquesta tesi, amb possibilitat d'ésser aplicat a altres tecnologies i casos d'estudi.

En aquest treball, el model proposat serà aplicat a les primeres produccions amforals de tipologia romana documentades en els contextos estratigràfics datats del voltant del canvi d'Era en l'actual zona nord del Litoral català. Concretament, la nostra recerca s'ha centrat en els tipus Dressel 1, Laietana 1/Tarraconense 1, Pascual 1 i

Dressel 2-4. Així mateix, també han estat inclosos, de manera puntual, altres tipologies que es documenten en els mateixos contextos i amb cronologies similars, com ara els tipus Greco-itàlica, Laboglia, Dressel 7-11 i Oberaden 74. En total s'ha analitzat una mostra de 345 individus amforals. Els conjunts d'àmfores analitzats procedeixen de sis centres productors: Can Notxa (Argentona, El Maresme), El Mujal (Calella, El Maresme), C/ de Guillem de Palafolls (Malgrat de Mar, El Maresme), Fenals (Lloret de Mar, La Selva), Collet de Sant Antoni (Calonge, Baix Empordà) i Llafranc (Palafrugell, Baix Empordà). Així mateix, s'han caracteritzat tres conjunts amforals procedents de jaciments on no hi ha, a dia d'avui, evidències arqueològiques clares sobre la producció d'aquests envasos i que, per tant, són considerats com a centres receptors o consumidors. Els jaciments estudiats com a centres receptors són les ciutats romanes d'*Emporiae* (Empúries, Alt Empordà), *Iluro* (Mataró, Maresme) i *Palma* (Palma, Illes Balears).

Per tal d'assolir els objectius plantejats serà necessari, en primer lloc, desenvolupar el marc teòric i metodològic a partir del qual es fonamentarà la nostra recerca, i que ens proporcionarà els conceptes necessaris per abordar l'estudi del canvi tecnològic en el nostre cas d'estudi. La seva aplicació partirà de la definició dels grups de referència dels centres productors per tal de poder identificar posteriorment la seva distribució en els centres receptors. Amb aquests objectius de rerafons han estat aplicades conjuntament diverses tècniques analítiques. Tots els individus han estat caracteritzats químicament mitjançant Fluorescència de Raigs X (FRX) i mineralògicament mitjançant Difracció de Raigs X (DRX). L'aplicació d'aquestes tècniques permet definir els grups de referència i les característiques composicionals i estructurals del material ceràmic. L'estudi d'aquestes característiques es veurà ampliat amb l'aplicació puntual de Microscòpia Electrònica de Rastreig (MER), Microscòpia Òptica sobre làmina prima (MO) i l'estimació de les propietats elàstiques i mecàniques del material ceràmic, concretament la resistència mecànica a la fractura. Finalment, les característiques composicionals i estructurals de les ceràmiques seran avaluades en funció dels diferents dissenys formals que representen les diferents tipologies d'àmfora. Aquesta avaluació es realitzarà mitjançant l'Anàlisi d'Elements Finitos (AEF). Aquest mètode permetrà conèixer el comportament físic i mecànic de les diferents tipologies

amforals a partir d'una simulació per ordinador de diverses condicions d'ús.

Aquest treball s'estructura a partir d'un estat de la qüestió dels estudis que consideram més rellevants sobre el canvi tecnològic en ceràmiques arqueològiques, emfatitzant les perspectives teòriques des de les que s'han desenvolupat programes analítics que contempen caracteritzacions arqueomètriques (Capítol 1). Seguidament s'exposa el model teòric i metodològic proposat per a l'estudi del canvi tecnològic en envasos amforals (Capítol 2) i es presenta el cas d'estudi (Capítol 3). A continuació es presenta un estat de la qüestió sobre els estudis realitzats sobre aquests envasos amforals (Capítol 4), seguit per una introducció dels centres productors i receptors d'on provenen els conjunts analitzats (Capítol 5). La part analítica s'inicia amb una exposició de les tècniques i rutines analítiques emprades en la caracterització del material ceràmic (Capítol 6). Els resultats i la seva discussió es presenten en els capítols següents (Capítols 7-9). Finalment es presenten els resultats de la caracterització arqueomètrica dels conjunts amforals procedents dels centres receptors (Capítol 10), així com les conclusions del treball (Capítol 11). Aquest treball consta de tres Annexos on es presenten les taules (Annex 1), els dibuixos dels materials caracteritzats (Annex 2) i la llegenda dels mapes (Annex 3). Aquests tres Annexos es presenten en format CD-ROM junt al text imprès.



# CAPÍTOL 1

---

## CANVI SOCIAL I TECNOLOGIA

### *1.1 Preliminar*

**D**es del neixement de la disciplina arqueològica la variació de la cultura material ha estat un dels principals centres d'atenció i estudi (Caylus 1752; Evans 1850; Holmes 1890, 1891; Rau 1896; Thomsen 1848; Wilson 1891). Des de llavors, l'estudi del canvi cultural ha estat realitzat des d'una multiplicitat de cossos teòrics i metodològics i ha estat assistit per programes analítics diversos. Tot i els diferents enfocaments, en el moll de l'os de tots aquests estudis es plantegen els mateixos interrogants: com s'ha d'interpretar la variació cronològica i espacial de la cultura material documentada en les excavacions? per què la ceràmica documentada en un jaciment és del tipus A en una determinada cronologia i del tipus B en el període següent? com s'ha d'entendre el canvi en el tipus de desgreixador emprat en la producció d'un mateix tipus ceràmic al llarg del temps? els canvis que s'observen en les tipologies ceràmiques, poden representar canvis funcionals cercats premeditadament pels seus productors? quins efectes té el medi social sobre la tecnologia, i viceversa? Totes aquestes qüestions s'adrecen a entendre el canvi cultural, particularment el canvi que té lloc en l'àmbit de la tecnologia.

En aquest capítol es presenten diversos models explicatius que s'han desenvolupat sobre el canvi tecnològic en la producció de ceràmiques, i que emfatitzen

la relació existent entre el canvi tecnològic i la societat en què aquest es produeix. Malgrat l'existència d'un gran nombre de models explicatius sobre el canvi tecnològic, el discurs es limitarà a aquells casos en els quals la recerca ha estat plantejada des d'una perspectiva diacrònica.

Actualment, junt a l'Arqueologia, la recerca sobre l'aparició i el desenvolupament de la tecnologia es realitza des de disciplines molt diverses; la Història, la Sociologia, la Filosofia de la Ciència, l'Antropologia o l'Etnoarqueologia, entre d'altres. Per aquesta raó el present capítol s'inicia amb una aproximació breu als treballs més rellevants realitzats des d'aquestes disciplines. Per bé que l'objecte d'estudi d'alguns d'aquests treballs no són les ceràmiques, es considera rellevant fer-ne esment en tant que mostren, des del punt de vista teòric, diversos aspectes en comú amb els principals models creats des de l'Arqueologia.

## ***1.2 Tecnologia i canvi. Una perspectiva teòrica***

### **1.2.1 Història, Sociologia i Filosofia de la ciència, la tecnologia i el canvi**

En els darrers trenta anys, molts dels treballs realitzats des de les Ciències Socials i les Ciències Humanes coincideixen en interpretar les manifestacions tecnològiques com el resultat de processos socials que estarien més influïts per les percepcions dels grups productors i pel context social i cultural específic en què es produeix la tecnologia, que no pas pels condicionants tècnics o materials dels artefactes. La cultura material, llavors, jugaria un paper actiu en la producció i reproducció de les relacions socials i dels valors culturals. Des d'aquesta perspectiva la tecnologia hauria d'ésser analitzada com si fos una construcció social depenent més dels condicionants socials, econòmics i ideològics, que no pas per qualsevol altre criteri tècnic o funcional lligat a la materialitat de la tecnologia (Barnes 1974; Basalla 1988; Bijker *et al.* 1987; Cardwell 1972; Latour 1996; Law 1991; MacKenzie i Wacjman 1985; Noble 1984).

Aquest plantejament, certament, no pot ésser entès sinó com a part de la seva condició postmoderna (Jenkins 1997; Johnson 2000: 201-216). I és precisament des d'aquest marc de pensament d'on deriven les principals característiques de l'actual paradigma sobre l'estudi de la tecnologia i de les seves variacions al llarg del temps i

l'espai. Com ha exposat recentment per Loney (2000a), aquestes característiques són: (1) la revaluació de la relació entre el coneixement científic i la tecnologia, (2) l'asserció del control social sobre el canvi tecnològic, i (3) el refús de l'avenç científic i del canvi tecnològic com a quelcom natural i necessari.

En els darrers anys s'ha assistit a una revisió de la concepció moderna de la relació entre la ciència i la tecnologia (Acevedo 1996; Acevedo *et al.* 2003). El concepte segons el qual la ciència es desenvolupa de manera independent, seguint una dinàmica pròpia, i desenvolupant noves idees i nous models, mentre que la tecnologia jugava un paper subordinat respecta d'aquella, aplicant les idees que la ciència generava, ha centrat les crítiques de molts autors partidaris d'una anàlisi separada dels dos fenòmens (Pfaffenberger 1992a). Més concretament, s'entén que la imatge de la ciència com un sistema per a produir coneixement, i de la tecnologia com el mitjà més adient per a la seva aplicació, no serveix per a comprendre les interaccions existents dins dels sistemes socials, molt especialment en el cas de sistemes socials del passat. Aquesta perspectiva ha influït en la manera d'entendre l'adopció d'una determinada tecnologia per part dels grups consumidors i com, aquest procés, afecta al canvi tecnològic. Per a molts historiadors, sociòlegs i filòsofs de la Ciència, quan es produeix un canvi tecnològic en un context cultural determinat, no necessàriament s'han d'apel·lar a fonts de canvi externes i, no necessàriament, aquests processos de canvi s'han d'identificar sempre com a innovacions (Basalla 1988; Cardwell 1996; Schiffer 1991).

En el seu estudi històric sobre els descobriments tecnològics *revolucionaris*, Cardwell (1972; 1996) planteja que molts dels descobriments que han tingut un gran impacte en el desenvolupament social posterior no poden ésser considerats estrictament com a invencions. Aquestes suposades invencions ja estarien presents en el sistema social, si bé en forma de coneixements tàcits que en un moment donat són implementats per a cobrir una necessitat immediata. El model generat per Cardwell ha tingut importants implicacions en l'estudi del canvi tecnològic en Arqueologia, especialment en l'escola postprocessual (Loney 2000a). D'una banda el més evident; l'aparició d'un artefacte en el registre arqueològic pot no coincidir amb el zenit de la seva importància cultural. D'altra, quan es produeix un canvi, aquest segueix una lògica

interna pròpia, que està fortament lligada a la percepció cultural, la ideologia i les creences dels grups productors i consumidors de la tecnologia.

Així mateix, l'aproximació de Cardwell ha estat criticada per estar afectada de mancances metodològiques importants (Loney 2000a). La seva Història de la tecnologia és certament un treball essencialment descriptiu i mancat d'un discurs explicatiu del canvi tecnològic. A més, la perspectiva des de la qual planteja el seu discurs és implícitament teleològica, lineal i unidireccional (Misa 1988; Smith i Marx 1997); les manifestacions tecnològiques que van apareixent al llarg de la història de part de la societat occidental són el resultat d'una recerca premeditada de solucions per cobrir unes determinades necessitats. Aquesta interpretació del canvi tecnològic està marcada pel que anomenem una *visió teleològica de la tecnologia*. Aprofundirem aquest concepte en el capítol següent.

En contra d'aquesta visió teleològica de la tecnologia, Noble (1984) apunta a que l'adopció d'una nova tecnologia és fa de manera voluntària, si bé els grups consumidors realitzen aquesta adopció seguint uns procediments que no sempre són econòmica o científicament racionals i predictibles. En aquest model, els factors ideològics tindrien un pes molt gran en l'explicació del canvi tecnològic, entenent-ho com una construcció eminentment cultural. En aquest mateix sentit s'emmarca el treball de Laudan (1984: 5-10). Aquesta autora refusa la idea que la transmissió del coneixement sigui infinitament acumulativa, a causa de la pèrdua d'informació al llarg de la majoria de processos de transmissió. Aquestes variacions produïdes pels petits errors que es transmeten d'una persona a altra en la propagació i replicació dels trets culturals no serien exclusives de cultures antigues, sinó que també afecten molt sovint a processos tecnològics contemporanis (Basalla 1988; Kelly i Kranzen 1978). L'impacte d'aquests models en l'explicació del canvi tecnològic des de l'Arqueologia queda clarament exposat en el treball de Loney (2000a: 649). En aquest cas l'autora manifesta que el model de Laudan serveix de crítica als postulats processualistes i evolucionistes, que entenen el canvi tecnològic com el resultat d'un procés d'adaptació a través dels artefactes, més que no pas com reflex d'influències de caire cultural (Bronitsky i Hamer 1986; Dunell i Feathers 1991; Feathers 1989; Hoard *et al.* 1995; Neff 1997; Neff *et al.* 1997; Steponaitis 1979, 1983, 1984). L'argument és que si s'accepta la

premissa que el coneixement tecnològic no és acumulatiu degut a la pèrdua d'informació en el procés de transmissió, no es sostindrien els models de factura funcionalista, que pretenen explicar els canvis tecnològics com el resultat d'una seqüència per assolir un objectiu a llarg termini a través de la millora tecnològica.

Entre els treballs sobre la Història de la tecnologia que més impacte han tingut en els darrers anys s'hauria de destacar el de Basalla (1988). En aquest llibre, l'autor planteja una sèrie d'hipòtesis sobre el paper de la diversitat, la continuïtat, la novetat i la selecció en el canvi tecnològic. La importància d'aquest treball rau, entre d'altres apreciacions, en el fet de plantejar el canvi tecnològic com una concatenació de processos de llarga durada. A partir de la constatació que la majoria de canvis tecnològics són el resultat d'un increment progressiu de variacions, Basalla sosté que, al menys en l'aspecte més fonamental, les novetats tecnològiques deriven evolutivament d'artefactes anteriors. El seu model de canvi tecnològic està recolzat per innumerables exemples històrics procedents de la Revolució Industrial a Gran Bretanya entre els segles XVIII-XIX, o del ràpid desenvolupament industrial dels EE.UU. al llarg de segle XIX i del Japó en el XX. El model de Basalla destaca també pel fet de situar l'artefacte i el seu disseny en el centre d'atenció de la història de la tecnologia. Basalla argumenta que els artefactes estan, d'alguna manera que es pot reconèixer, connectats entre sí per relacions que deriven d'un origen comú. Si bé, en contra de la tradicional visió teleològica que lliga una determinada necessitat amb l'aparició d'una solució amb utilitat unívoca, Basalla desvincula certes necessitats de la supervivència i les vincula al plànol simbòlic, depenent del sistema de valors del context social en què es desenvolupa. A partir d'aquest plantejament, proposa que no és la necessitat la que estimula l'origen de l'artefacte, sinó que és la invenció la que estimula la necessitat de l'artefacte (cf. Bourdieu 1984; Wilk 2001). És a dir, les causes subjacents a la selecció d'una determinada tecnologia són una conseqüència d'una percepció cultural de la necessitat i, per tant, depèn completament del seu context. Així, molts dels artefactes que aparentment resultaven ésser innovacions tecnològiques haurien pogut aparèixer perfectament en un període anterior, però no haurien donat resposta a cap interès suficientment popularitzat (Basalla 1988).

L'interès públic sobre una tecnologia ha demostrat ésser també d'una gran

importància en el model generat per Schiffer (1991) per explicar l'evolució de la ràdio portàtil en la història americana contemporània. En aquest cas, l'autor parla d'*imperatiu cultural* com un dels factors que poden ser clau en l'impuls d'una activitat tecnològica. Schiffer defineix el concepte *imperatiu cultural* amb els següents termes:

*“[...] When a vision is sufficiently popularized, it may attract a group of adherents – a constituency – and become a cultural imperative. A cultural imperative is a product believed by its constituency to be desirable and inevitable, merely awaiting technical means for its realization. The constituency of a cultural imperative, which may be a rather small but vigorous group, often takes concrete steps toward creating the necessary technology. Cultural imperatives, then, furnish mandates for technological development. [And] stimulate experiments that apply existing technology and at times lead to the creation of new technology” (Schiffer 1991: 9-11).*

Les *visions* de les que parla Schiffer s'originarien tradicionalment en la literatura popular. Un exemple serien les novel·les de Jules Verne que ajudaren a crear tota una bateria d'imatges sobre l'aviació i els viatges espacials que fou emprada per a generar una corrent d'opinió favorable envers les polítiques d'actuació relacionades amb determinades activitats tecnològiques. En qualsevol cas, aquest model mostra la necessitat de separar els factors relacionats amb la producció d'una tecnologia dels relacionats amb el seu consum. Si bé el concepte d'imperatiu cultural ha resultat útil per entendre alguns dels processos relacionats amb la creació d'un artefacte, els factors que poden explicar el seu èxit entre grups consumidors poden respondre a dinàmiques molt diferents. Així, malgrat que un imperatiu cultural es manifesti en un grup social nombrós, i que finalment es produeixi l'artefacte en qüestió, aquest pot desaparèixer ràpidament de l'escena social per fracassar entre el grup consumidor (Schiffer 1991, 2005a). El que és més important és la idea que els patrons de consum poden ésser modelats des d'una superestructura que projecta en els grups socials mecanismes conscients i inconscients que afecten a la seva conducta, en aquest cas concret al consum. Aquest procés de modelatge de la conducta és el que Schiffer anomena *criptohistòria* (Schiffer 1991: 224-231).

L'interès popularitzat en una tecnologia és també clau en els models

desenvolupats per Bijker i Law (1992). En aquest cas les tecnologies són vistes com el resultat d'un conjunt de compromisos entre diversos nivells de la societat. Aquests autors conclouen que el canvi tecnològic no es pot entendre mai unidireccionalment vers l'eficiència, com una trajectòria natural de la tecnologia. Ans al contrari, és important considerar el fet que conceptes com el d'eficiència no són universals, sinó que són percepcions profundament lligades al context cultural i que poden canviar radicalment d'un grup social a un altre. Segons aquests autors, la idea de la tecnologia com un fenomen que té una trajectòria natural és una creença profundament arrelada en la societat occidental, que vincula inexorablement tecnologia, ciència i eficiència (Bijker i Law 1992: 1-17).

### 1.2.2 Antropologia de la tecnologia

A diferència de la situació a Espanya i a gran part de l'Europa continental, en la majoria de Departaments de les universitats i centres de recerca nord-americans, els plans d'estudi d'Antropologia contemplen els principals camps de recerca sobre l'estudi de la humanitat. Així, és molt comú veure com, en la literatura anglòfona, s'inclouen dins de la disciplina de l'Antropologia treballs assistits per marcs teòrics i metodològics tan variats com puguin ser els procedents de l'Antropologia Cultural, l'Etnografia, l'Arqueologia, la Lingüística Antropològica o l'Antropologia Física (Harris 2004). En aquest apartat, ens referim als treballs que considerem més rellevants duts a terme, fonamentalment, des del camp de l'Antropologia Social o Cultural.

En els darrers vint anys han estat publicats un nombre relativament elevat de treballs que centren l'atenció en el desenvolupament de marcs teòrics i models orientats específicament vers una *Antropologia de la Tecnologia* (Appadurai 1986; Childs 1999; Dobres i Hoffmann 1999; Ingold 1988, 1990, 2001; Keller 2001; Kingery 1996; Lemonnier 1986, 1992; Pfaffenberger 1992a, 2001; Schiffer 2001a; Thomas 1991). El primer aspecte que crida l'atenció és la gran quantitat de definicions que trobem sobre la tecnologia. És clar que la tecnologia s'ha definit segons l'interès de cada investigador, fixant-ne el sentit, bé més ampli, bé més concret, en funció de l'abast de la seva recerca. Per a alguns autors la definició de tecnologia es limita al procés de manufactura dels artefactes, entesos aquí com a construccions artificials modificades culturalment (Keller

i Keller 1996). En aquests casos la recerca s'ha centrat en els artefactes i en les activitats que donen lloc a la producció d'altres artefactes. Per altres autors, la tecnologia és definida en un sentit més ampli, incloent, no només els artefactes i les activitats que participen de la producció, sinó també les que participen de l'apropiació, l'ús i el consum (Dobres 1995; Dobres i Hoffmann 1999; Ingold 1990; Kingery 2001; Pfaffenberger 1992a, 2001). La tecnologia també ha estat definida com la producció i l'ús *intencionat* d'objectes per tal de manipular i controlar el món (Kingery 2001: 123). Aquesta intencionalitat manifesta porta a centrar l'estudi de la tecnologia, i del canvi tecnològic, en l'avaluació de l'efectivitat en què s'aconsegueix aquest control del context ecològic i cultural en el qual s'emmarca la tecnologia. Així mateix, també es poden trobar definicions molt més àmplies com les que entenen la tecnologia com una construcció cultural lligada de tal manera a la societat en què es desenvolupa que només mitjançant la seva assistència un grup social pot assolir els seus objectius, ja siguin de caire religiós religiós (Walker 2001), polític (Pfaffenberger 1992b, 2001) o econòmic (Keller 2001).

Aquesta antropologia propugna que, per a poder entendre correctament qualsevol activitat humana que té lloc en una determinada societat, és necessari reconèixer i analitzar les tecnologies que s'hi manifesten. Aquest plantejament, que pot semblar simplista, és en realitat una proposta per reconsiderar el sistemes socials descrits per l'antropologia tradicional que, en molts casos, ha interpretat erròniament o negligit el paper de la tecnologia en la reproducció de les relacions socials i els valors culturals. Aquest és, per exemple, el discurs proposat per Thomas (1991). L'autor, en el seu estudi sobre l'apropiació tecnològica en comunitats de la Micronèsia, observa una intensa relació entre les manifestacions tecnològiques —la seva producció, apropiació, ús i abandonament— i les relacions que s'estableixen en el sí de les societats. Segons l'autor la tecnologia serveix, no sols per a la producció d'artefactes, sinó que, a més, forneix als artefactes d'uns significats que són claus per a entendre les relacions socials. En el cas d'apropiació de tecnologies forasteres, aquestes passen a formar part de l'entramat tecnològic tant en termes utilitaris com simbòlics; l'apropiació s'explica per que dona resposta a una necessitat preexistent, però les modificacions que se succeeixen posteriorment sobre aquesta tecnologia poc tenen a veure amb les expectatives que



tindrien els seus productors i consumidors originaris. En aquest sentit, l'autor entén que el canvi tecnològic es produeix per imperatius que són exclusius del context social en el qual s'actualitzen constantment els significats simbòlics dels artefactes (Thomas 1991).

En els treballs de Miller (1987; 2002) i Schaniel (1988) es poden trobar altres exemples interessants sobre l'adopció de tecnologies forasteres i del per què aquests processos no impliquen necessàriament l'adopció del sistema lògic i simbòlic en què es varen produir els artefactes. Però, quina és la causa d'aquests significats simbòlics de les tecnologies? d'on surten i per què es creen els símbols? quina és la relació entre tecnologia i simbolisme? Aquestes preguntes, plantejades en moltes ocasions des de l'Antropologia Cultural, són d'una importància capdal en la recerca arqueològica, especialment en la que té les ceràmiques com a objecte d'estudi. Les variacions en les decoracions ceràmiques o, fins i tot, en la pròpia forma de les peces ha estat sovint interpretada com el resultat d'una codificació d'informacions socials i/o ideològiques, necessàries d'una manera o altra per a un correcte desenvolupament de les activitats (Comas 1998; Cumberpatch 1997; David *et al.* 1998; Tremoleda 2000; Wobst 1977). Aquesta seria una de les assumpcions teòriques més freqüents en l'Antropologia del simbolisme (Evers *et al.* 1988; Hardin 1984; Pfaffenberger 2001; Plog 1983; Sackett 1982, 1984; Wobst 1977), i que ha tingut una apreciable repercussió, conscient o inconscientment, en la interpretació arqueològica (Robb 1988): la gent crearia els símbols perquè els sistemes socials no podrien funcionar, o al menys no ho podrien fer amb la mateixa eficiència, sense els significats simbòlics que són constantment disseminats pels artefactes.

Aquesta assumpció és examinada per Pfaffenberger (2001) qui conclou que és una proposició clarament vulnerable en termes teòrics. D'una banda, palesa certament que l'argument constitueix una fal·làcia del tipus *post hoc ergo propter hoc*; la simple existència d'una símbol no demostra conclouentment que aquest hagi de jugar un paper indispensable per al funcionament de les activitats en què participa. En qualsevol cas, com bé apunta l'autor, per mantenir aquesta asserció caldria estar assistit per un recolzament teòric que especifiqués per què la comunicació dels significats simbòlics és fonamental per al manteniment de les activitats i de les relacions socials. D'altra banda,

citant el treball de Victor Turner (1967), argumenta que és molt difícil de demostrar que els artefactes —les tecnologies— manifestin un vessant simbòlic *a causa* de la importància que tindria la disseminació d'aquests significants en el manteniment de les relacions socials. La principal dificultat rau, segons l'autor, en la incapacitat d'explicar satisfactòriament l'ambigüitat i la polisèmia inherent a qualsevol símbol. Al contrari, la seva tesi discorre sobre l'argument que els significats que expressen els símbols són un epifenomen, és a dir, un fenomen secundari en comparació als significats que es generen durant les activitats que produeixen els símbols, és a dir, durant els processos tecnològics. Ras i curt, Pfaffenberger argumenta que els símbols no creen els significats, ho fan les activitats que hi ha al darrere de la producció dels artefactes. En les seves pròpies paraules:

*“[...] On theoretical grounds, I am contending that the symbolism encoded in so many human artefacts is largely an epiphenomenon; such symbolism is properly regarded as the result of technological activities that generate shared cultural meanings, rather than the cause of such meanings. And it follows that no anthropological account of cultural symbolism can claim anything approaching explanatory adequacy without a sustained attempt to place symbolism in the context of such activities, including the entire gamut of activities spanning an artifact's life cycle (creation, distribution, appropriation, use, maintenance, and destruction). No anthropology of symbolism can exist without an anthropology of technology... [otherwise] is liable to advance interpretation that are gravely erroneous”* (Pfaffenberger 2001: 80).

Amb aquest plantejament, Pfaffenberger reexamina els estudis etnogràfics de McVeigh (1996) sobre el rol dels *kawaî* en la societat japonesa contemporània, i els estudis ja clàssics de Munn (1974) sobre les canoes de l'Illa de Gawa a Papua Nova Guinea, i de Malinowski (1922; 1935) sobre els magatzems de nyams a les Illes Trobiand. La conclusió és que, en tots els casos, la negligència dels estudis tecnològics provoca una incorrecta interpretació de les manifestacions simbòliques, car són situades *a priori* en dues dimensions separades. Això seria el resultat d'una imposició inconscient de les concepcions que el propi investigador té a partir de les seves experiències quotidianes sobre tecnologia i simbolisme; seria el corol·lari d'una

alienació, en el clàssic sentit marxista, a rel de la separació dels artefactes de les activitats que els produeixen. Per evitar aquestes interpretacions errònies, Pfaffenberger advoca l'abandonament del que considera una desocialització de la tecnologia, representada en el que anomena una Visió Estàndard de la Tecnologia, un programa fonamentat en tres arguments mitificats: (1) la invenció és el resultat de la necessitat, (2) el significat simbòlic d'un artefacte deriva del seu estil —contraposat a la seva funció—, i (3) la història de la tecnologia és una progressió unilineal de les eines simples a les màquines i sistemes complexos (Pfaffenberger 1992a: 493-495).

En els treballs de Lemonnier (1986; 1993) podem trobar-hi també arguments en contra d'una visió unilineal de la història de la tecnologia. Aquest autor considera que, malgrat que des de la perspectiva de molts investigadors el canvi tecnològic pot ser interpretat com a resultat d'una recerca progressiva de solucions per part dels artesans, aquesta pot no ser l'aproximació més adient per a entendre els factors subjacents del canvi. A partir del seu treball de camp entre la comunitat Anga de Nova Guinea, planteja que moltes de les decisions preses pels ceramistes a l'hora de manufacturar les peces, que poden semblar aparentment decisions arbitràries, responen a estratègies profundament lògiques dintre del funcionament de la seva estructura social. És més, Lemonnier observa una sorprenent variabilitat en les tècniques de manufactura d'una mateixa classe ceràmica al llarg de les comunitats de Nova Guinea. Les diferències es produeixen, fins i tot, en els aspectes que afecten directament a les característiques més funcionals de la ceràmica, com seria el tipus i la mida del desgreixador. Lemonnier argumenta que seria un error avaluar les eleccions dels ceramistes simplement en funció de la millor o pitjor adequació de les ceràmiques a la seva funció, car aquesta pot estar relacionada de manera molt subtil amb les estratègies socials, que poden passar fàcilment desapercebudes per a l'investigador (Lemonnier 1993: 3).

Lemonnier, seguint el corrent de pensament de l'escola francesa de Sociologia i Etnologia de la Tecnologia originada en els treballs de Mauss (1935) i Leroi-Gourhan (1964; 1965; 1971), entén la tecnologia com un fenomen fortament condicionat socialment (Lemonnier 1992: 1) i suggereix que el millor model per estudiar-la és observar detalladament les transformacions de la matèria al llarg de la seqüència operativa, el que es coneix com a *chaîne opératoire* (Leroi-Gourhan 1964, 1965).

Aquesta seqüència inclou tant la manipulació dels artefactes i les matèries primeres durant el procés de manufactura com les percepcions culturals que tindrien els artesans sobre la manera més apropiada de treballar els materials (Lemonnier 1992: 4-17). La seqüència operativa és el resultat d'un conjunt d'eleccions decidides pels artesans en el procés de manufactura; una selecció realitzada entre varies alternatives potencialment disponibles (Lemonnier 1992: 17). És important assenyalar aquí que aquest concepte, que traduïm com a elecció tecnològica (*technological choice*), juga un paper força important en alguns dels models més recents desenvolupats des de l'Arqueologia i l'Etnoarqueologia sobre el canvi tecnològic en ceràmiques (Gosselain i Livingstone Smith 1995; Livingstone Smith 2000; Pool 2000; Sillar 2000; Sillar i Tite 2000). En el programa proposat per Lemonnier, l'interès de l'investigador s'ha de centrar en explicar la variabilitat precisament d'aquestes eleccions tecnològiques entre diferents seqüències operatives al llarg del temps, bé tinguin lloc en una mateixa societat bé en diferents societats.

Tanmateix el model proposat presenta, des de la nostra perspectiva, mancances significatives per poder ser aplicat vàlidament en l'estudi del canvi tecnològic de ceràmiques arqueològiques. Es posa un especial èmfasi en la idea que els processos mentals que, en darrera instància, determinen les accions de les persones en el món material estan fortament vinculades a un ampli sistema simbòlic. Així, les eleccions tecnològiques, per bé que estarien condicionades per les propietats materials, s'entenen en termes relatius; depenen de la percepció cultural dels artesans. No obstant, aquesta asseveració no rep el suport d'un programa analític per caracteritzar la vessant tècnica o utilitària dels artefactes i que, per tant, pugui ser contrastat.

En qualsevol cas, és important el reconeixement de Lemonnier sobre la gran influència que poden exercir sobre la tecnologia els factors d'ordre social i ideològic. Aquest plantejament ha estat portat més enllà en molts estudis antropològics i etnoarqueològics al considerar una interacció entre els dos fenòmens. No sols la tecnologia estaria condicionada per l'entramat simbòlic d'una societat sinó que la mateixa tecnologia, a l'hora, influiria en la societat com a conjunt. Exemples d'advocació per aquesta tesi són els presentats, entre d'altres, per Pfaffenberger (1992b) i Griffiths (1999).

### 1.2.3 Etnoarqueologia. Tecnologia ceràmica en acció

Per bé que les dades procedents de l'Etnografia fa molt temps que han estat emprades per a realitzar inferències sobre el passat humà, no és fins al tercer quart del segle XX quan els arqueòlegs comencen a desenvolupar unes metodologies pròpies en l'observació de societats del present (Arnold 1980; Binford 1978; Deal 1998; Donnan i Clewlow Jr 1974; Gould 1980; Kramer 1985; Longacre 1991; Longacre i Skibo 1994; Lynne Costin 2000; Rye 1976, 1981; Skibo 1992; Yellen 1977).

Generalment es relaciona aquesta disciplina amb l'estudi de societats contemporànies que mantenen el que s'ha qualificat erròniament com a activitats de "tipus tradicional", com ara les societats aborígens d' Austràlia (David i Kramer 2001; Kramer 1997), les societats andines (Arnold 1993; Sillar 2000) o algunes societats del nord d'Àfrica (Balfet 1965; En-Nachioui 2005, en premsa; Picon 1995b). Tanmateix, en els darrers anys s'han vist incrementats els estudis etnoarqueològics realitzats *sobre* societats industrials occidentals (Buchli i Lucas 2001; Gould i Schiffer 1981; Rathje i Murphy 1992; Schiffer 1978).

Un dels grans avantatges que presenta l'aproximació etnoarqueològica en l'estudi del canvi tecnològic en ceràmiques és que possibilita l'observació directa tant de les conductes que es manifesten durant l'organització de la producció o del consum, com de les conseqüències materials d'aquestes conductes en els artefactes. Els avantatges de monitoritzar el procés de manufactura no han passat desapercibuts per a la recerca arqueomètrica que ha vist com l'anàlisi de les produccions ceràmiques de comunitats contemporànies suposen, des d'un punt de vista analític, "casos amb una solució coneguda" (Buxeda *et al.* 2003: 1)<sup>1</sup>. Qüestions com ara, quina és la homogeneïtat química que es pot esperar dins d'una mateixa producció, quina quantitat de mostra s'ha d'analitzar per a que sigui representativa de la composició química global de la peça, o si es poden establir relacions entre l'homogeneïtat —composicional— d'una producció i l'habilitat tècnica o l'especialització dels artesans, poden ser plantejades amb un coneixement *a priori* de les conductes i les activitats que es reflecteixen en els resultats analítics. Com a conseqüència d'això aquesta aproximació ha servit per a examinar

---

<sup>1</sup> Aquests autors suggereixen el terme *Etnoarqueometria* per fer referència a l'aplicació de tècniques arqueomètriques en l'estudi del registre etnoarqueològic (Buxeda *et al.* 2003: 2).

algunes de les assumpcions que fonamenten les caracteritzacions arqueomètriques de ceràmiques, tant pel que respecta als estudis de provenença (Arnold *et al.* 1991; Arnold *et al.* 2000; Arnold III 1999; Buxeda *et al.* 2003; Cau *et al.* en preparació) com als estudis de tecnologia (Gosselain 1992; Livingstone 2000; Longacre 1992; Picon 1995a, 1995b, 2005; Pool 2000; Sillar 2000; Skibo 1994).

Una bona part dels estudis etnoarqueològics sobre tecnologia ceràmica s'han desenvolupat seguint el concepte ja esmentat de seqüència operativa (*chaîne opératoire*) com a esquema d'anàlisi. Com ja s'ha comentat en l'apartat anterior, aquest esquema posa un especial èmfasi en observar les opcions tecnològiques que estarien a l'abast del ceramista durant el procés de manufactura (Livingstone 2000; Stark *et al.* 2000; Van der Leeuw 1991).

Com ha estat exposat recentment per Sillar i Tite (Sillar i Tite 2000: 4), pel que respecta a la tecnologia ceràmica es poden distingir cinc grans camps dins dels quals es prendrien les eleccions tecnològiques més rellevants. El primer camp d'elecció serien les matèries primeres amb què es manufacturen les ceràmiques. Aquí s'inclourien, entre d'altres, les argiles, els desgreixadors, els pigments i l'aigua. El segon camp el formarien les diferents eines que es podrien emprar per donar forma a la matèria primera i transformar-la en el producte final, com per exemple el torn, la torneta, els motlles o els forns. Com a tercer camp d'elecció es defineixen les fonts d'energia que s'emprarien en la transformació de la matèria primera, com l'energia emprada per malaxar la pasta argilosa, l'energia del sol emprada per eixugar les peces un cop confeccionades o el combustible emprat en la cocció. El quart camp serien les tècniques emprades estratègicament per combinar les matèries primeres, les eines i les fonts d'energia amb una finalitat concreta. Finalment, el cinquè camp d'elecció estaria format per la seqüència tècnica, és a dir, la seqüència en la qual els camps anteriors es conjuguen per a transformar la matèria primera en el producte ceràmic. Aquí s'inclourien l'ordre en què s'executarien les tècniques, la freqüència en què són repetides i el lloc on es realitzen (es depura l'argila abans d'afegir-li desgreixador? aquesta acció es realitza cada dia, un cop per setmana o dues vegades l'any? fins a quin punt l'argila és processada en la mateixa argilera, en la casa del ceramista o en una àrea de treball específica?). Així mateix, l'estudi d'aquests camps d'elecció pren en

consideració tant la percepció cultural que d'ells tenen els ceramistes com la seva relació amb altres aspectes socials i tecnològics amb els que es relacionen en el context socio-cultural (Sillar 1996, 2000).

Les descripcions de produccions ceràmiques d'arreu del món es caracteritzen, com és d'esperar, per una gran variabilitat en els cinc camps d'elecció (Arnold III 2000; Deal 1998; Kramer 1997; Livingstone 2000; London 1991; Pool 2000; Sillar 1996, 2000; Skibo *et al.* 1989a). No és d'estranyar, doncs, que un dels temes de discussió més recurrents en la literatura etnoarqueològica sigui la inferència sobre les conductes humanes del passat des de les traces documentades en el registre material. Una de les discussions més interessants, i que considerem més rellevant en el context d'aquest treball, se centra en el concepte de destresa o coneixements tècnics del ceramista, i les seves relacions potencials amb l'estandardització de la producció i amb l'organització espacial.

En molts treballs etnoarqueològics s'ha observat com la tecnologia ceràmica no és sols una variable depenent de l'organització de la producció, sinó que existeix una relació complexa i mútuament causal entre aquests dos factors (Arnold 1999; Feinman 1999; Kramer 1997; Van der Leeuw 1991). Un exemple clar el representa el treball d'Arnold (1999). Aquest autor explora l'impacte de l'ús del motlle com a tècnica de manufactura en l'organització de la producció en la comunitat de Ticul (Mèxic). Observa com l'ús d'aquesta tècnica requereix d'uns coneixements tècnics molt menors que qualsevol altre tècnica tradicional coneguda en aquesta comunitat (modelatge a torn i torneta). Els coneixements tècnics que es requereixen són tan escassos que, fins i tot, els nins i nines més petits de la comunitat poden dedicar-se a produir peces ceràmiques amb motlles i esdevenir, així, econòmicament productius en un període relativament curt de temps. A més, es constata que la producció de ceràmiques mitjançant aquesta tècnica dona com a resultat uns envasos molt homogenis des del punt de vista formal, cosa que afavoreix la seva adquisició pels grups consumidors (Arnold 1999: 73-74).

Aparentment, el gran avantatge de fer servir aquesta tècnica és que no es requereix de grans coneixements tècnics i que, en conseqüència, es pot augmentar la producció (molt homogènia formalment) en funció dels recursos humans disponibles. Però això no succeeix, com així? En aquest cas, l'espai disponible representa el

condicionant més important pel que fa a la tecnologia ceràmica i a la intensitat de la producció, cosa que afecta significativament a les traces deixades en el registre arqueològic. En aquest cas, es demostra que la producció ceràmica mitjançant la tècnica del motlle necessita de disposar de molt més espai que no pas les altres tècniques tradicionals. D'una banda, els motlles han de ser emmagatzemats quan no estan en ús (Arnold 1999: 70-71). D'altra, amb motlles només es poden produir envasos de petites dimensions, car el fet de disposar d'una argila excessivament plàstica (Arnold 1999: 67) fa que les peces grans necessitin estar molt més temps dins del motlle per eixugar-se, cosa que és contraproductiu amb l'eficiència de temps que suposa l'ús d'aquesta tècnica. Com a resultat, es produeixen molts envasos de petites dimensions, el que representa més envasos per unitat d'argila. Així, quan són disposats pel terra per a procedir al seu eixugat necessari abans de la cocció, ocupen una major superfície per unitat d'argila. Aquest estudi reafirma el que s'ha observat en altres treballs etnoarqueològics (Deal 1998; Feinman 1999; Stark *et al.* 2000); la importància de la disponibilitat d'espais en els contextos domèstics de producció, car aquests entren en competència amb altres activitats no productives.

Un altre dels factors emprats per a inferir la intensitat de la producció és el grau de variació que presenten les dimensions formals de la ceràmica (Roux 2003). Costin i Hangstrum (1995) entenen que una major rutina en el procés de producció pot donar com a resultat una menor variabilitat formal en les produccions ceràmiques (*cf.* Keller 2001; Rice 1991). La conseqüència lògica és que una producció més intensiva es traduiria, en termes generals, en uns envasos formalment més homogenis que una producció menys intensiva. No obstant, aquesta asseveració no sempre és confirmada per la recerca etnoarqueològica.

Kvamme i col·laboradors (1996) i Longacre (1999) han centrat la seva recerca en estimar el grau d'estandardització i especialització de la producció ceràmica en diverses comunitats de les Filipines. En aquests treballs es realitzen una sèrie de mesures de les geometries de diferents tipus ceràmics produïts en diferents contextos (des de ceramistes a temps parcial en contextos de producció domèstics fins a artesans a temps complet). Els resultats del tractament estadístic de les dades mètriques mostren com, si bé en ocasions es poden establir una correlació directa entre intensitat i homogeneïtat



formal, aquesta no és, en absolut, una tendència general. Una conclusió similar és a la que arriba Barbara Stark (1995), qui suggereix que la producció d'envasos formalment homogenis depèn d'una multiplicitat de factors. Aquesta autora observa com, en ocasions, els conjunts d'envasos que mostren menys variabilitat formal corresponen als ceramistes menys especialitzats.

Així doncs, si bé la intensitat de la producció no permet establir una relació clara amb una producció formalment homogènia, tal vegada la destresa tècnica del ceramista podria estar-hi relacionada d'alguna manera. O, plantejat des d'una perspectiva arqueològica, fins a quin punt un conjunt d'envasos formalment homogenis poden reflectir la destresa tècnica d'un ceramista? Costin i Hangstrum (1995: 630) suggereixen que la destresa tècnica es pot relacionar positivament amb la intensitat de la producció, de tal manera que un artesà que passi més temps produint peces assolirà un major grau de destresa tècnica a conseqüència de l'experiència acumulada. Un conclusió similar es pot desprendre dels treballs de Deal (1998: 165-166) i Longacre (1999: 50-53).

Contràriament, Arnold (1999: 76-80) apunta que l'habilitat tècnica d'un ceramista, tant en el seu vessant cognitiu com mecànic pot no tenir un reflex en les característiques materials de la ceràmica. És més, a partir del seu treball a Ticul, conclou que l'augment i la intensificació de la producció han tingut un efecte clarament negatiu en els coneixements tècnics dels artesans, a causa de la segmentació en la seqüència operativa. Si bé 50 anys enrere, la destresa tècnica per a produir una ceràmica requeria de coneixements, entre d'altres, sobre la geologia de la zona, sobre el comportament de la matèria primera durant el processament, el modelatge i la cocció, i sobre el tipus de combustible més adient en cada cocció, els ceramistes actuals han delegat la major part d'aquestes activitats a altres persones. Aquest fet porta a l'autor a suggerir la distinció entre els conceptes de *destresa individual* i *destresa agregada*, essent aquesta darrera la suma d'habilitats necessàries per a produir una ceràmica (Arnold 1999: 79).

Tots aquests estudis remarquen la importància de definir què s'entén per especialització en la producció ceràmica. Segons la hipòtesis plantejada per Rice (1991), l'especialització implica que un nombre reduït de grups productors subministrin a un nombre elevat de grups consumidors. Des d'una perspectiva més conductual, Pool

(2000) defineix l'especialització com la quantitat de temps, treball i altres recursos invertits en la manufactura i distribució d'un producte. Per la seva banda, Stark (1991) i Herbich i Dietler (1991) qualifiquen, respectivament, la producció ceràmica de la comunitat filipina de Dulapa i de la comunitat kenyana de Luo com a especialitzada, pel fet de ser el principal subministrador de ceràmiques de la seva àrea immediata, malgrat que els ceramistes només produeixen a temps parcial i sempre en contextos domèstics.

Per centrar-nos més concretament en el procés de canvi tecnològic ens hem de referir a la proposta teòrica formulada recentment per Michael B. Schiffer (en premsa). L'autor proposa que, des de l'Etnoarqueologia, s'han de crear uns models explicatius a partir de l'anàlisi, el més acurat possible, de la seqüència d'activitats específiques en les que l'artefacte ha participat al llarg de la seva existència. A més, defensa una noció més ample del concepte de *competències*<sup>2</sup> (*performance characteristics*) per tal d'implicar, en el desenvolupament del model, el màxim de factors contextuais que puguin haver influït en el canvi tecnològic. Aquestes competències són les que ha d'avaluar l'etnoarqueòleg mitjançant el que anomena *performance matrix*, una eina heurística que permet suggerir els patrons que amb més probabilitat han estat els responsables del canvi tecnològic (Schiffer 1995, 2000, 2005a; Schiffer i Skibo 1987).

Aquesta visió més àmplia dels conceptes desenvolupats des de les teories conductuals, i que Schiffer propugna per a que sigui adoptada per la recerca etnoarqueològica sobre el canvi tecnològic, rep el nom d'*expanded etnoarchaeology*. Des d'aquesta perspectiva, l'investigador ha d'utilitzar, no sols les evidències procedents del registre etnogràfic i arqueològic, sinó també les dades que pugui trobar en documents procedents del registre històric, sempre, però, a partir de l'enfocament de les interaccions entre persones i artefactes. En definitiva, el model proposat per Schiffer li dona la volta a la visió més tradicional, en entendre la Història com una font auxiliar de l'Arqueologia, específicament de l'Etnoarqueologia, a diferència del que s'acostuma a proclamar (Schiffer en premsa).

---

<sup>2</sup> El concepte de *performance characteristics* és d'especial importància en els models i teories formulats des de l'arqueologia conductual. Per bé que la seva introducció en la literatura arqueològica, fins allà on tenim coneixement, és deguda a Braun (1983), aquest concepte ha estat redefinit de manera acurada pels autors de l'escola conductual (Longacre *et al.* 2000; Schiffer i Skibo 1997; Schiffer i Miller 1999a, 1999b; Skibo i Schiffer 2001). Com exposarem més endavant, en el nostre cas farem servir el terme en català *competència* per fer referència a aquest concepte.

### ***1.3 Canvi tecnològic i Arqueologia***

Les diferències en els models explicatius del canvi tecnològic en ceràmiques realitzats des de l'Arqueologia no es poden entendre correctament si no és a partir dels seus marcs teòrics de referència (Hegmon 2003; Loney 2000a, 2001). Les teories que han tingut un major impacte en l'Europa continental, Gran Bretanya i els Estats Units d'Amèrica han variat substancialment en els darrers 50 anys (Hodder 2001). Possiblement, a excepció feta de la nova arqueologia (*New Archaeology*), la qual va tenir un forta influència en els models generats entre els anys 60 i 70, cap altre marc teòric s'ha adoptat de manera tan uniforme. Des de la concepció *normativa* dels fenòmens tecnològics que mostrava l'historicisme cultural (Johnson 2000: 34), fins a l'actual etapa de maduració aparent de la disciplina arqueològica que deixa enrere els models interpretatius post-processuals (Mithen 2005), es pot trobar una ingent bateria de recursos conceptuals que han estat emprats en la formulació de models explicatius. En general s'observa una tendència a la dicotomia. Mentre que, en algunes ocasions, les explicacions referents al canvi tecnològic s'han basat en factors de tipus estrictament cultural, en altres, s'ha donat prioritat als factors materials o funcionals. Els estudis arqueomètrics han format part tradicionalment del segon grup, per bé que en l'actualitat s'observa una certa tendència a transcendir la simple materialitat dels artefactes i aproximar-se a les diferents maneres en què aquestes propietats materials intervingueren i modificaren la vida dels actors socials (Schiffer 2001a).

#### **1.3.1 Models interpretatius de canvi tecnològic**

##### *1.3.1.1 La tecnologia ceràmica com a cultura arqueològica*

Entre els primers models per a explicar el canvi tecnològic en ceràmiques arqueològiques destaquen els formulats per l'historicisme cultural (Lyman *et al.* 1997). Des d'aquest marc teòric es varen abordar la majoria d'estudis realitzats tant des de l'Europa continental i Gran Bretanya com des dels Estats Units d'Amèrica abans de la dècada dels 60 del segle XX.

Els primers intents per explicar les variacions de les ceràmiques que es documentaven en el registre arqueològic es fonamentaven en el concepte de "cultura arqueològica", originat en els treballs de Kossinna i Gordon Childe des d'Europa i de

Kroeber i Kidder des dels Estats Units. En aquests treballs, però, el concepte de tecnologia ceràmica no es fa explícit. El principal focus d'atenció se centra en caracteritzar el que defineixen com a cultura arqueològica, entesa com l'expressió material de les idees d'un poble. Per tant en aquests treballs no es parla tant de canvi tecnològic com de canvi cultural.

En el cas concret dels estudis sobre ceràmiques, els objectius eren descriure, més que no pas caracteritzar, les traces de les tradicions culturals que es podrien interpretar a partir de les variacions existents en els envasos. Així, es posava un especial èmfasi en la distribució espacial i en els canvis que s'hi observaven des d'una perspectiva diacrònica. D'aquesta manera es descrivien fases i àrees en les que s'hauria produït el canvi cultural. Els treballs de síntesi donaven la imatge d'unes cultures assimilades al concepte contemporani de poble en sentit ètnic (Lyman *et al.* 1997), que s'anaven succeint unes a les altres al llarg del temps, caracteritzades per unes tecnologies —cultures— que variaven a diferent ritme.

El model difusionista ha estat el més emprat per l'historicisme cultural. Aquest model es fonamenta en tres entitats principals: la cultura, els trets culturals i les idees. La cultura representaria el conjunt de conductes que manifesta un grup humà. Les característiques d'aquestes conductes (per exemple, la ceràmica, el sistema de creences, les relacions de parentiu) són els trets culturals. Cada un d'aquests trets seria la manifestació d'una idea específica d'un membre de la cultura en qüestió. Segons aquest model, el canvi en les cultures, és a dir, l'aparició de nous trets o la desaparició de trets existents, es deuria a un flux d'idees. Els mecanismes responsables de l'aparició i la distribució de les idees serien bàsicament tres: la invenció, la difusió i la migració. La invenció representaria la generació de noves idees, la difusió comportaria la transmissió d'una idea d'una cultura a una altra, i la migració seria la transmissió d'una idea pel trasllat físic dels membres d'una cultura. El principi fonamental del model és que les invencions acostumen a aparèixer en un nucli cultural. A partir d'aquí es difonen en funció del temps, és a dir, quan més temps ha passat des de la invenció major és la seva difusió.

En definitiva, aquest plantejament s'assentava sobre l'assumpció que les entitats materials, les ceràmiques, i les seves distribucions espacials i cronològiques

representaven tradicions de diferents grups humans. En conseqüència d'això, els canvis principals sols podien haver-se donat a causa de la substitució d'unes tradicions per unes altres i, per tant, d'unes poblacions per unes altres, si més no en aquells casos on la producció ceràmica es mantenia en contextos domèstics, més que no en mans d'especialistes. Aquest plantejament va tenir, pel que respecta als treballs realitzats des d'Europa, un caràcter essencialment qualitatiu (Shennan 2000: 811). Les cultures arqueològiques s'interpretaven com a entitats estàtiques i es representaven en mapes de distribució en funció de les fases o períodes "culturals" (Johnson 2000: 36, Fig. 2.2). D'altra banda, els treballs realitzats des dels Estats Units tenien un caràcter més quantitatiu. Les seqüències cronològiques s'acostumaven a generar en funció de les diferents freqüències que mostraven els tipus ceràmics definits tipològicament.

#### 1.3.1.2 *El corrent processual*

L'aproximació de l'historicisme cultural és reemplaçada al llarg de la de la dècada dels 60 i, especialment, en els anys 70 i 80 pel corrent processual o funcionalista, originat des de l'esmentada *New Archaeology*. La gran diferència respecte de l'historicisme cultural és de caràcter epistèmic. El corrent processual és fonamentalment un corrent positivista, de manera que propugna la generació de coneixement arqueològic a partir de l'observació de les característiques materials dels artefactes. En aquest sentit, les característiques dels artefactes són enteses com allò que pot ser copsat, que pot ser aprehès pels sentits. Només a partir d'aquesta observació, postula el processualisme, es poden establir regularitats referents al comportament humà (Trigger 1992).

Des del corrent processual, els models de canvi tecnològic es fonamentaven, d'una banda, en el fet d'entendre les ceràmiques, i per extensió qualsevol altre artefacte o manifestació tecnològica, com a elements que tenen un paper clau en l'adaptació de les comunitats humanes, més que no pas com a reflexes d'influències culturals. La importància que es donava al medi natural i a les característiques funcionals dels artefactes va propiciar la implementació de diferents tècniques analítiques que milloraren substancialment les caracteritzacions de les ceràmiques arqueològiques. En aquest context s'han d'entendre els treballs, entre d'altres, d'Steponaitis (1983; 1984), Bronitsky i Hamer (1986) o Feathers i Scott (1989).

L'altre gran fonament teòric dels models processuals, i que també va estimular la investigació de noves tècniques d'anàlisi, és el reconeixement de la cultura material en general, i de la ceràmica en concret, com un fenomen multidimensional afectat per una multiplicitat de factors. Aquest aspecte tindrà una important repercussió en altres corrents teòrics, des de l'arqueologia de la conducta (*behavioral archaeology*) fins a la corrent post-processual (Hodder 2001; Jones 2004).

Els processos de canvi tecnològic, tanmateix, han estat explicats pels processualistes posant un especial èmfasi sobre els aspectes ambientals, tècnics, i econòmics, sense una consideració clara dels possibles factors culturals que podrien haver condicionat les eleccions tècniques dels ceramistes. Per exemple, des d'un enfocament processual, els canvis observats en les dimensions d'una vaixel·la de taula determinada podrien ser més probablement el reflex de variacions en la quantitat de gent que participava dels banquets, que no pas la incursió d'una nova població amb preferències per diferents mides de la vaixel·la; o que nous dissenys d'envasos podrien indicar noves pràctiques de consum d'aliments, possiblement associades a l'emergència de nous patrons d'interacció i diferenciació social (Shennan 2000: 812-813).

Un altre dels paradigmes sorgits de la *New Archaeology* que més influència ha tingut en els models generats a ambdues bandes de l'Atlàntic és el que es coneix com a ecologia ceràmica (*ceramic ecology*). Aquesta aproximació a l'estudi del canvi tecnològic té el seu origen en els treballs de Frederick Matson (veure especialment Matson 1965), i ha estat implementat mitjançant la recerca realitzada, entre d'altres, per Kolb (1982; 1997), Kolb i Lackey (1998) i Arnold (1985; 1993). Així mateix, l'impacte de la proposta teòrica i metodològica de Matson es pot apreciar en la recerca etnoarqueològica de Kramer (1997) i Longacre (1991), discutida més a dalt.

L'ecologia ceràmica es desenvolupa com una proposta teòrica i metodològica per a l'estudi de l'organització de la producció ceràmica (Matson 1965). Des d'aquest plantejament s'entén que l'arqueòleg ha de ser capaç d'explicar amb detall els factors relacionats amb la producció ceràmica dins del context socioeconòmic en què va ser produïda i consumida. Una de les grans aportacions d'aquest paradigma a la teoria i metodologia emprada per a l'estudi del canvi tecnològic és la seva concepció sistèmica dels processos de producció i de consum. Aquests dos processos són entesos com a dos

components que interaccionen en el marc socioeconòmic on es manifesten. És precisament aquest context cultural el que representa l'objectiu final de l'estudi de la tecnologia ceràmica. En paraules de Matson:

*“[...] unless ceramic studies lead to a better understanding of the cultural context in which the objects were made and used, they form a sterile record of limited worth” (Matson 1965: 202).*

Seguint aquest model, molts treballs en la dècada dels 80 centraren els seus esforços en entendre els processos de producció ceràmica des d'una perspectiva diacrònica, abordant el seu estudi com si es tractés d'una activitat econòmica amb uns condicionants propis, com per exemple, la disponibilitat limitada de fonts locals d'aprovisionament de matèria primera, el caràcter estacional de la producció o, fins i tot, els condicionants marcats per la llei de l'oferta i la demanda (Arnold 1981, 1985). Així mateix, també es varen generar models predictius aplicables en estudis interculturals (Rice 1984), i intents d'aplicar el que Loney (Loney 2000a: 655) qualifica de *lògica intuïtiva del canvi tecnològic*. Aquesta lògica assumeix, d'una banda, que la millora tècnica o utilitària de les ceràmiques en un sistema tecnològic concret és previsible i, d'altra banda, implica als artesans dins d'un cicle continu de diverses etapes. Durant la primera fase, els ceramistes s'enfrontarien amb problemes relacionats amb la producció ceràmica. Aquests problemes suposarien un desequilibri respecte l'adaptació al medi, entengui's aquí tant el medi natural (fonts d'aprovisionament de la matèria primera adient, fonts d'energia necessària per a la producció) com també cultural (diferents tècniques, tecnologies o tradicions tecnològiques). En una nova fase, els problemes serien solucionats mitjançant el coneixement empíric i l'experimentació dels ceramistes, que conclouen en la millora tècnica dels artefactes. Aquesta millora tècnica proporciona de nou una fase d'equilibri, en termes d'adaptació, fins a l'aparició d'un nou problema, iniciant-se una altre vegada el cicle.

Entès d'aquesta manera, el canvi tecnològic implica un camí inexorable vers una millora tècnica contínua dels artefactes, entenent el concepte d'eficiència tècnica en el sentit més occidental i contemporani del terme (Bijker i Law 1992: 1-16). Aquesta lògica intuïtiva del canvi tecnològic estaria present en els processos d'innovació

tecnològica que interpreten, entre d'altres, Vincas Steponaitis, en el seu estudi sobre el canvi tecnològic de les ceràmiques de cuina documentades a Moundville (Alabama), situades cronològicament en el període 1000 aC-1500 dC (Steponaitis 1984: 108-111), o Stimmell i col·laboradors, en l'estudi sobre les ceràmiques procedents de contextos datats d'entre el 800-1500 dC a la vall del riu Mississipi (Stimmell *et al.* 1982: 226-228). En aquests treballs, les variacions de les eleccions tècniques fetes pels ceramistes resulten d'una fase d'instabilitat, en termes d'adaptació al medi, a causa de la manca de disponibilitat d'unes matèries primeres que permetessin la producció d'uns artefactes amb les característiques tècniques requerides.

De manera paral·lela al desenvolupament d'aquests models des de l'ecologia ceràmica nord-americana, cal destacar l'aportació feta des d'Europa per Van der Leeuw i els seus col·legues (Annis 1985; Balfet 1984; Van der Leeuw 1984). Els models proposats per aquests investigadors es fonamenten sobre uns plantejaments teòrics similars al paradigma de l'ecologia ceràmica de Matson, per bé que posen especial èmfasi en el caràcter multidimensional de la tecnologia ceràmica. Això va propiciar que l'estudi arqueològic de la ceràmica es realitzés des d'aproximacions variades, des d'una proposta teòrica sobre les tipologies ceràmiques (Franken 1989), fins a l'ús de dades procedents de l'Etnoarqueologia (Annis 1985), o anàlisis arqueomètriques per tal d'establir provinences (Van As i Jacobs 1995) o caracteritzar tecnològicament produccions ceràmiques (Annis *et al.* 1995). Així mateix, aquest èmfasi en considerar la gran quantitat de variables que poden condicionar els canvis en la tecnologia ceràmica va suposar, com ha assenyalat Loney (2000b: 651-652), un progressiu abandonament del paradigma ecològic, en favor d'uns models on el context cultural i les eleccions tecnològiques prenen el principal protagonisme i esdevenien el centre de la recerca. Aquesta nova perspectiva d'anàlisi s'ha d'entendre en la situació que, ja des de principis dels anys 80, es viu en la disciplina arqueològica a ambdues bandes de l'Atlàntic. És en aquells moments quan s'obre un debat en el qual es critica la capacitat de l'Arqueologia per a explicar la variabilitat del comportament humà del passat, des del positivisme lògic propugnat per la nova arqueologia. Aquesta crítica pot ésser seguida a través dels treballs editats per Hodder (1982) o Miller i Tilley (1984). Concretament, el corrent crític refusa el mètode hipotètic-deductiu i el fet que es puguin formular lleis generals, i



explora com a alternativa la utilitat de la superestructura simbòlica, en el sentit marxista del terme (Earle i Preucel 1987).

El treball de Beatrice Annis (1985) suposa una interessant aportació a la crítica dels models lineals fonamentats en la idea del canvi tecnològic inherent al concepte de progrés. L'autora observa un canvi en el disseny dels cànirs produïts a la ciutat d'Oristano (Sardenya) entre els anys 20 i 80 del segle XX (Annis 1985: 251, Fig. 10). Precisament, aquest canvi en el disseny dels envasos coincideix amb un període de canvis profunds a nivell econòmic, polític i social. Concretament es tracta del període en què Oristano passa d'ésser una societat fonamentalment agrària a formar part de les estructures socio-econòmiques pròpies del món contemporani occidental, caracteritzat per una economia liberal de mercat (Annis 1985: 240-241). L'autora argumenta que el canvi en els dissenys dels cànirs s'acompanyen d'una clara millora en la qualitat de la ceràmica, que es reflecteix en una fàbrica més fina, en uns vidrats més homogenis i, en general, en una aparença més estilitzada, amb uns dissenys més aerodinàmics. No obstant, adverteix que la variació formal dels envasos només representa un aspecte, dels molts que expliquen la substitució d'uns tipus de producció per una altra. L'autora en destaca el fet que les diferents produccions s'associen a diferents àrees d'aprovisionament de matèria primera, si bé observa com el canvi d'una producció per una altra no es produeix fins aproximadament mig segle després que la nova àrea d'aprovisionament esdevé disponible per a ésser explotada. L'autora conclou que si se centra l'atenció en les millores tècniques que en resulten del canvi tecnològic i no es presta la suficient atenció al context ecològic i social, es pot perdre fàcilment la perspectiva, interpretant com a factor subjacent d'aquest canvi només un aspecte de la realitat, i probablement no el més important.

Amb un enfocament similar, situant el context social en el centre del model, es troba el treball de Balfet (1984). Les observacions etnogràfiques realitzades per aquesta autora entre comunitats nord-africanes serveixen de base per a la formulació d'una explicació on els factors socials són els responsables en darrera instància de les eleccions tecnològiques dels ceramistes, concretament les referides al disseny de la peça i a la tècnica de manufactura. L'autora mostra com la coexistència del que defineix com a dues tradicions tecnològiques, caracteritzades per l'ús de diferents tècniques de

manufactura (ceràmica produïda a torn i ceràmica produïda a mà), està relacionada amb les diferents estratègies socials de cada comunitat, on el rol del gènere hi juga un paper clau. L'autora conclou que l'elecció tecnològica que comporta el disseny d'una peça és el resultat combinat, d'una banda, de les limitacions imposades per la tècnica de manufactura i, d'altra, per les condicions tecno-econòmiques del sistema productiu (problemes de demanda i diferents percepcions del concepte de qualitat).

El pas del paradigma ecològic al que s'ha anomenat una aproximació contextual o cultural al canvi tecnològic (*contextual approach*) (Sillar i Tite 2000) és palesa en el treball del mateix Van der Leeuw. L'autor, qüestionant la capacitat de l'arqueòleg per distingir els factors ecològics dels factors socials en l'estudi del canvi tecnològic de ceràmiques, argumenta que no és vàlid extreure conclusions de casos particulars i extrapolar-les a altres contextos diferents (Van der Leeuw 1984). El model proposat per aquest autor (Van der Leeuw 1991, 1993) es fonamenta en el concepte d'elecció tecnològica discutit més a dalt. Així, es posa èmfasi en el fet que són els factors culturals, més que no pas els de caràcter ecològic, els que en darrera instància determinen les eleccions preses pels ceramistes. Per tant, l'estudi de les ceràmiques hauria de centrar el seu interès en caracteritzar, no sols aquestes eleccions, sinó també el gruix d'alternatives que haurien tingut a la seva disposició els ceramistes. Seria aquest conjunt de factors culturals els que en darrera instància governarien el disseny d'una ceràmica, la seva efectivitat i l'expectativa que d'ella tindrien tant els grups productors com els consumidors (Van der Leeuw 1991; cf. Kingery 2001; Lemonnier 1993). D'aquesta manera, la tecnologia ceràmica és vista, no com el producte d'un ceramista que s'enfronta a problemes tècnics que ha de superar per assolir una situació satisfactòria d'adaptació al medi cultural o ecològic, sinó des de la perspectiva d'un actor que es desenvolupa en un context marcat per uns condicionants culturals, ideològics i socials. Així doncs, per bé que el canvi tecnològic de la ceràmica pugui seguir uns patrons concrets, aquests podem respondre a una lògica interna, consistent només respecte dels paràmetres culturals dins dels quals s'ha desenvolupat.

Dins d'aquest paradigma sobre el canvi tecnològic ens sembla interessant l'aportació feta per Loney (2000b) sobre la discontinuïtat tecnològica que observa en la producció ceràmica en l'Edat del Bronze a Itàlia. L'autora mostra com l'evolució

diacrònica de les tècniques de manufactura ceràmica no segueix la mateixa intensitat que els canvis socials i culturals que es produeixen durant aquest període. A partir de la caracterització arqueomètrica de les ceràmiques demostra que les tècniques de manufactura pròpies de l'Edat del Bronze a Itàlia romanen sense grans variacions fins a ben entrat el període del Bronze Final, en contrast amb l'increment de la complexitat que s'observa en l'organització social i política, a rel d'una intensificació significativa de l'activitat econòmica. Seguint la línia projectada per Van der Leeuw, de la seva conclusió es desprèn la importància dels factors culturals i ideològics en el model de canvi tecnològic. Des de la seva perspectiva teòrica, entén la tecnologia com un fenomen menys predictable del que s'havia suggerit fins el moment, i dóna una especial importància al control social sobre la producció de la tecnologia (Loney 2000b: 661-662).

### *1.3.1.3 Tecnologia, metàfores i materialitat*

Com ja hem esmentat, el progressiu abandonament de l'enfocament estrictament processual en favor d'uns models on el context cultural prenia més protagonisme va lligat a la nova corrent de pensament que sorgeix en la dècada dels 80 i que posa en dubte la visió positivista de la ciència. Aquest nou enfocament teòric, que s'ha denominat corrent post-processual (Hodder 1982), no pot ésser desvinculat de l'aparició, a una escala més gran, d'una filosofia del pensament postmoderna que es caracteritza per una postura crítica vers el positivisme i, en conseqüència, per l'escepticisme cap a la possibilitat d'obtenir un coneixement objectiu.

L'arqueologia post-processual (també coneguda com arqueologia interpretativa) ha tingut una presència molt important durant les dècades dels 80 i 90, especialment dins de l'arqueologia britànica. Paradoxalment, des d'aquest marc teòric es dóna una gran importància al caràcter multidimensional de la producció ceràmica, com també ho proposava el corrent processual contra el qual reacciona. Tanmateix, des de l'arqueologia interpretativa es refusa completament el fet d'entendre la ceràmica, i per extensió qualsevol altre manifestació de cultural material, en termes exclusivament d'adaptació funcional. En lloc d'això, s'emfatitza el paper actiu que juguen els artefactes en la creació i manipulació dels significats simbòlics, especialment en el

context de la creació, el manteniment i la reproducció de les relacions socials.

Si bé aquest corrent teòric ha tingut una influència considerable en la interpretació arqueològica (Tilley 2002), no és tanta la seva aportació directa en la creació de models específics sobre el canvi tecnològic en ceràmiques (Hegmon 2003; Loney 2000a). En qualsevol cas, no volem deixar de fer esment, encara que sigui de manera breu, a les darreres propostes formulades des d'aquest corrent i que han tingut ja un cert impacte en el camp de l'Arqueometria (Boivin *et al.* 2005; Jones 2004).

Jones (2004) planteja com, des d'una perspectiva post-processual, es pot abordar l'estudi de la cultura material prenent en consideració les diferències en les propietats materials dels artefactes. El seu discurs parteix de la constatació que les explicacions basades en la metàfora lingüística, emprada profusament pels post-processuals (Tilley 2002), no ha proporcionat explicacions satisfactòries sobre la variació de la cultura material. El fonament teòric del model de la metàfora lingüística és l'assumpció que el registre arqueològic representa quelcom similar a una gramàtica lingüística. Així, les ceràmiques, per exemple, haurien d'ésser estudiades com artefactes, el disseny dels quals actuen com a símbols, comunicant significats (cf. Schiffer i Miller 1999a). L'objectiu primordial seria, doncs, la descodificació d'aquests significats. La principal limitació que troba Jones en aquest model és precisament la seva absoluta negligència de les propietats materials dels artefactes. Si el que es pretén és una aproximació a la manera en què els artefactes varen ésser social i culturalment construïts, afirma Jones, sembla indispensable un coneixement de les diferents qualitats d'aquests artefactes. D'aquesta manera es podrà estimar com aquestes diferències afectaren a la manera en què els objectes eren percebuts, emprats i simbolitzats. Només així, es podran avaluar correctament les relacions mútues entre la cultura material i les pràctiques socials (Jones 2004: 330-333).

Del discurs de Jones se'n desprèn lògicament que, pel que respecta als estudis ceràmics, fins i tot les aproximacions més post-processuals, haurien d'ésser assistides per anàlisis arqueomètriques que en complementessin la metàfora lingüística; de quina altra manera es podria caracteritzar la materialitat de la que parla Jones? El mateix autor suggereix alguns camps en els quals l'aproximació arqueomètrica podria participar en la dilucidació d'interrogants tan post-processuals en el seu plantejament com, per exemple,

com estan simbolitzades les propietats materials en els artefactes? o de quina manera aquestes propietats donen forma a les relacions socials? (Jones 2004: 336). En aquest sentit, les anàlisis arqueomètriques aplicades a pintures murals i frescs serien de gran importància a l'hora de valorar les possibles dimensions simbòliques del color (Jones 2004: 330-333). De manera similar, les propietats mecàniques dels artefactes poden aportar noves dades sobre el possible ús social dels objectes. Per exemple, la plasticitat d'una argila, la resistència a la fractura d'una ceràmica o la durabilitat d'un artefacte podrien estar representant diferents percepcions i, per tant, diferents maneres d'intervenir en les pràctiques socials.

Des de la nostra perspectiva, una de les millors maneres per fer front a aquestes qüestions és mitjançant el concepte de *performance characteristics*, implementat originalment per Schiffer i els seus col·legues des d'una perspectiva conductual (Schiffer i Skibo 1997; Schiffer i Miller 1999b). Com explicarem més endavant, aquest concepte, al qual nosaltres ens referim en català com a *competències*, es refereix a les capacitats específiques que poseeix un actor (persona, artefacte o sistema) per participar d'una activitat concreta.

#### 1.3.1.4 Les eleccions tecnològiques i el model contextual

Una de les darreres i més suggeridores aportacions teòriques i metodològiques a l'estudi de la tecnologia ceràmica és l'exposada per Sillar i Tite (2000). La seva aplicació ha proporcionat interessants interpretacions de les dades etnogràfiques i arqueològiques recollides recentment per Sillar (1996; 2000) i Livingstone Smith (2000), però també dels resultats de les caracteritzacions arqueomètriques de ceràmiques examinades per Tite (1999), Tite i col·laboradors (2001) i Tite i Kilikoglou (2002).

En la base d'aquests plantejaments hi ha el concepte ja esmentat d'elecció tecnològica (*technological choice*). La producció de qualsevol tipus de ceràmica comporta la presa d'una sèrie de decisions per part del ceramista al llarg de la seqüència operativa (Lemonnier 1992). Així, qualsevol intent per a reconstruir o caracteritzar una producció ceràmica hauria d'ésser capaç d'identificar el conjunt d'aquestes eleccions o, si més no, les més rellevants (Sillar 2000: 48-52). Igualment, aquesta proposta emfatitza la necessitat de considerar les eleccions alternatives que haurien estat potencialment

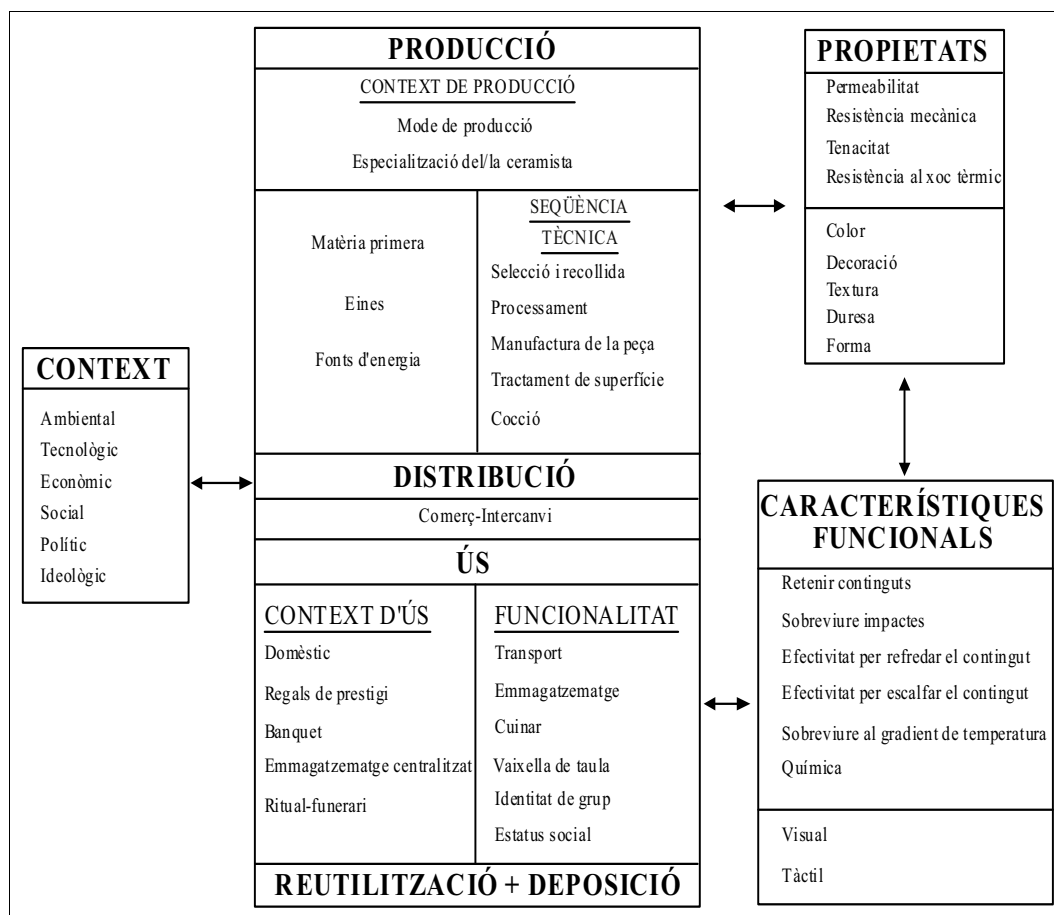
accessibles als ceramistes per a poder explicar, no sols el per què de les eleccions preses, sinó també les seves repercussions materials i socials.

És important precisar que, des d'aquesta perspectiva, les eleccions tecnològiques preses *durant* la seqüència operativa no són més que una part del procés tecnològic. Aquestes eleccions estarien condicionades també pel conjunt de factors que configuren els processos de distribució, ús, reutilització i deposició final d'un artefacte. Per tant, els models de canvi tecnològic elaborats des d'aquesta perspectiva consideren que els valors culturals de la societat en la qual es desenvolupa la tecnologia juguen un paper determinant en la presa de decisions. En aquest sentit, per exemple, seria tan important el coneixement de les conseqüències tècniques que suposa l'ús d'un determinat tipus de desgreixador com la percepció que d'ell en tindrien els ceramistes (Sillar i Tite 2000: 15-16).

L'èmfasi d'investigar les eleccions tecnològiques i d'integrar-les amb el context cultural (en el sentit més ample del terme) és expressat per Tite i Kilikoglou de la següent manera:

*“[...] in taking an holistic approach, one needs to consider the constraints imposed by the impact of the overall environmental, technological, economic, social, political and ideological contexts **in which production is embedded**”.* (Tite i Kilikoglou 2002: 4) (èmfasi en l'original).

Com ja hem exposat més a dalt, Sillar i Tite (2000) defineixen cinc grans camps en els quals es prendrien les eleccions tecnològiques més importants durant el procés de manufactura d'una ceràmica. Hem exposat també que aquestes eleccions estarien condicionades per factors que van més enllà dels estrictament tècnics. La qüestió que queda per saber és, quins són exactament aquests factors, i de quina manera poden afectar les eleccions preses pels ceramistes? Influïts per la proposta teòrica de Schiffer i Skibo (1997), Sillar i Tite elaboren un esquema on es consideren sistemàticament els factors més rellevants que poden afectar les eleccions tecnològiques (Figura 1).



**Figura 1.** Quadre resum de les relacions i dels factors més rellevants que poden afectar les eleccions tecnològiques en la producció ceràmica (A partir de Sillar i Tite 2000: 6).

En primer lloc se situen els cinc grans camps on els ceramistes prenen les decisions més rellevants. A partir d'aquí els autors consideren, d'una banda, com el context cultural en la seva totalitat pot condicionar *directament* la presa de decisions en aquests camps i, d'altra, com la pot condicionar *indirectament* a través dels contextos de producció, distribució i ús de la ceràmica. Per a il·lustrar això imaginem a una ceramista en època romana que es disposés a fer una àmfora.

Segons el model proposat per Sillar i Tite, els factors que condicionarien directament les eleccions preses per la nostra ceramista serien, entre d'altres, el context ambiental o geològic, els seus coneixements tecnològics i el context social i ideològic.

D'una banda, aquests factors influïrien en les eleccions tecnològiques a través de la disponibilitat, o no, d'una determinada matèria primera, d'eines, de les fonts d'energia necessàries, etc. D'altra banda, hi hauria la influència de les propietats i de les característiques funcionals que resultarien de les eleccions referents a la selecció de la matèria primera, al seu processament, a la seva manufactura, tractament i cocció. Suposem que la nostra ceramista selecciona una argila molt plàstica, com ara una del tipus il·lita o una montmorillonita (Henderson 2000: 114-115). Una argila d'aquestes característiques requerirà molt probablement de l'afegit d'un material no plàstic, un desgreixador, per tal de controlar les contraccions de l'argila durant el seu eixugat en cru. Així, cada una de les eleccions tecnològiques es poden entendre com variables interdependents d'altres eleccions que conformen, en conjunt, la seqüència operativa. La disponibilitat d'un tipus de matèria primera depèn del context geològic i de la capacitat tècnica de la ceramista per a seleccionar-la, recollir-la i processar-la, però també depèn, per exemple, de la seva percepció respecte l'adequació, o no, d'aquella matèria per a fabricar una ceràmica o de l'estatus social que tingui el treball de ceramista, entre molts d'altres factors culturals.

Entre els factors que indirectament condicionarien les eleccions preses per la ceramista, Sillar i Tite en destaquen el mode de producció i el grau d'especialització de l'artesà. Segons aquests autors l'organització de la producció podria dependre tant de la disponibilitat de les matèries primeres i de les capacitats tècniques del ceramista com de l'organització social i econòmica de la societat en què treballa. Igualment, l'expectativa d'ús de la ceràmica i la manera en què seria distribuïda representarien factors que influïrien indirectament sobre les eleccions tecnològiques. Per exemple, si l'àmfora que està fabricant la nostra ceramista s'hagués d'estibar en un vaixell de dos metres de puntal, i hagués de resistir les pressions exercides per altres envasos al llarg de tot el viatge per mar, la resistència dels envasos i la seva mida serien uns paràmetres a considerar en el moment de la seva producció.

En resum, el model proposat per Sillar i Tite (2000) emfatitza la importància d'identificar les eleccions tecnològiques i d'avaluar-les en funció dels factors ambientals, econòmics, tecnològics, socials i ideològics que podrien haver influït en la presa de decisions del ceramista. Per aconseguir aquesta fita, els autors entenen que les



tècniques arqueomètriques hi juguen un paper fonamental, car només mitjançant la seva participació es poden avaluar els factors funcionals d'una ceràmica. A partir d'aquesta avaluació seria possible estimar fins a quin punt aquests factors funcionals pogueren haver condicionat la presa d'eleccions. D'aquesta manera es defineix un punt de referència vàlid, el vessant tècnic de la ceràmica, a partir del qual es poden considerar altres factors culturals que no poden ésser mesurats ni contrastats (Sillar i Tite 2000: 16; veure també Cumberpatch *et al.* 2001).

#### 1.3.1.5 Estil i funció. El model evolucionista

El model evolucionista es configura, en bona part, a partir del treball de Robert C. Dunell (1978; 1980). En termes generals, aquest model podria ésser definit com l'aplicació de la teoria de la selecció natural darwiniana a l'estudi de la variació que s'observa en el registre arqueològic. Com el mateix Dunell ho defineix:

*“[...] Evolutionary archaeology should be understood as an explanatory framework that accounts for the structure and change evident in the archaeological record in terms of evolutionary process (natural selection, flow, mutation, drift) either identical to or analogous with these processes as specified in neo-Darwinian evolutionary theory”* (Dunell 1978: 197).

Quan és referida a la cultura material del registre arqueològic, l'evolució s'entén com la diferent persistència de variables discretes (Dunell 1980; Eerkens i Lipo 2005; Hegmon 2003; Lyman *et al.* 1998; Murray 2002; O'Brien i Lyman 2000; O'Brien *et al.* 1994; Shennan 2000; Shennan i Wilkinson 2001; Wheeler *et al.* 2002). Aquestes variables, dins d'una mateixa classe d'artefactes, sofririen una sèrie de variacions al llarg del temps, a través d'un procés de selecció. Aquest model centra la seva atenció en l'èxit de la reproducció —més correctament de la replicació— de les variables. En el cas que les variables mostrin algun avantatge funcional i, en conseqüència, tinguin més probabilitat de que siguin reproduïdes, es diu que són variables sotmeses a una selecció positiva (Hegmon 2003: 216-217). En el cas contrari, és a dir, aquelles variables que no presenten cap avantatge funcional, el que Dunell anomena trets estilístics (Dunell 1978: 199-200), estan subjectes amb més probabilitat a variacions aleatòries, això és, a un

canvi estocàstic; una analogia del concepte de deriva genètica<sup>3</sup>.

Des de l'arqueologia evolucionista s'assenyala que les diferències entre el que es consideren trets funcionals i trets estilístics no es poden establir *a priori*, sinó que han d'ésser identificats a partir de les tendències generals que s'observen en el registre arqueològic. Són aquests patrons els que indiquen si una determinada característica, un tret, fou considerat funcional i, per tant, subjecte a una selecció positiva (Leonard 2001).

Actualment, el principal focus d'atenció dels models explicatius generats des del corrent evolucionista se centra en identificar els processos que governen la transmissió dels trets culturals (Brantingham 2007; Eerkens i Bettinger 2001; Eerkens i Lipo 2005; Neff 2003; Neff *et al.* 1997; Shennan 2000; Shennan i Wilkinson 2001). En el cas concret de l'estudi del canvi tecnològic en ceràmiques, la tecnologia és vista com un fenomen que participa d'un sistema de transmissió cultural que és, per definició, esbiaixat (Neff 1990: 161-162; 1993, 2001; Shennan 2000: 812). Tanmateix, la transmissió només és un dels tres components que configuren el procés evolutiu, en aquest cas el canvi tecnològic. Els altres dos components són la generació de variacions (en els trets culturals) i, el ja esmentat, èxit de la replicació. La variació representa la matèria primera sobre la qual actua el procés de selecció i, d'aquesta manera, provoca els canvis de la freqüència en què els trets culturals es manifesten al llarg de temps (Eerkens i Lipo 2005: 317). Així doncs, des de la perspectiva evolucionista, el punt clau està en la transmissió de la informació i en el fet que, durant aquest procés, hi ha un o més fenòmens que provoquen una transmissió imperfecta d'aquesta informació. Així, el marc proposat per a l'estudi del canvi tecnològic s'orienta vers els mecanismes de transmissió d'informació. Aquesta subjecte d'anàlisi és coneix en la literatura evolucionista anglòfona com: *descent with modification* (Shennan 2000: 812). Aquest clar manlleu de la genètica (Cavalli-Sforza 2007: 35-43), implica el mecanisme en el qual, durant la transmissió d'informació genètica d'una generació a una altra, s'inclou la possibilitat que es produeixin mutacions, i que aquestes es puguin passar a futures generacions. En el cas de la producció ceràmica, les mutacions, és a dir, les variacions

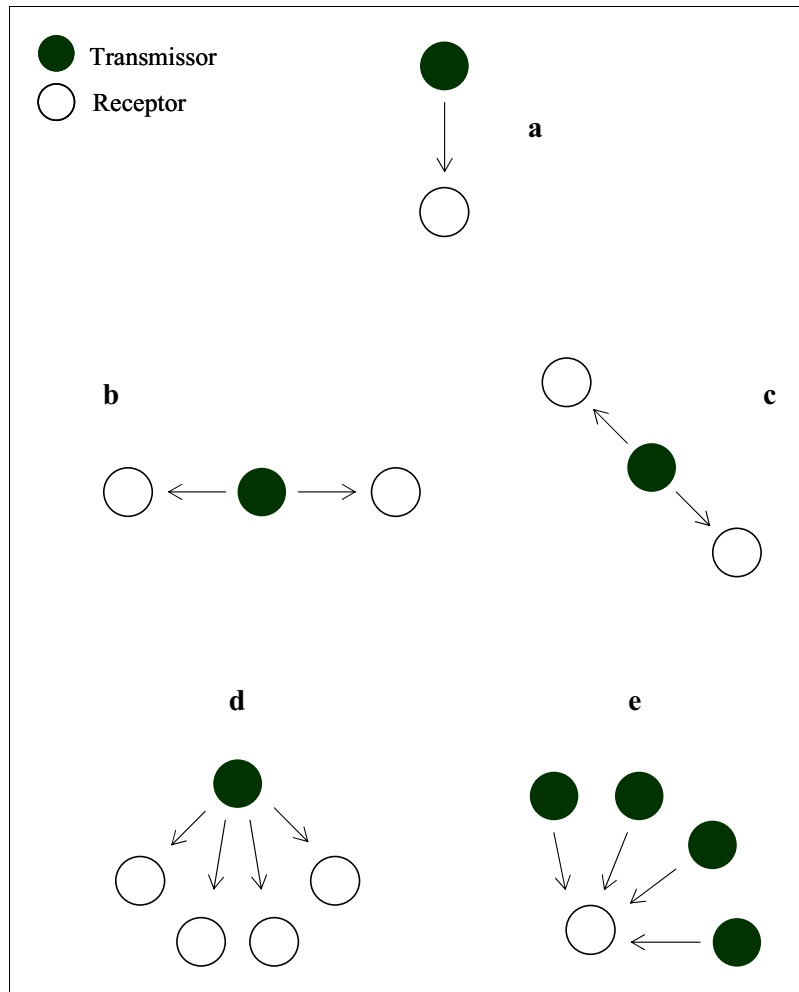
---

<sup>3</sup> El treball de Bamforth (Bamforth 2002) presenta una interessant discussió sobre l'ús metafòric dels conceptes de la teoria de l'evolució –biològica– i de les seves conseqüències en la interpretació arqueològica. Sobre una visió crítica de l'arqueologia evolucionista veure també (Boone i Smith 1998; Schiffer 1996).

casuals, atípiques, i que poden ésser transmeses, serien anàlogues al procés d'invenció; la seva aparició, transmissió i perpetuació produiria individus que formarien un nou tipus.

En resum, des d'una òptica evolucionista la investigació del canvi tecnològic hauria de situar les variables en estudi en un context selectiu i, a partir d'aquí, observar com la reproducció (replicació) de cada variable és afavorida en virtut de les seves característiques funcionals.

Un aspecte important en aquests models es refereix a la manera en què la informació, la cultura, és transmesa entre persones. Cavalli-Sforza (Cavalli-Sforza 1997: 176-184) defineix quatre mecanismes diferents de transmissió d'informació (Figura 2). El primer seria el mecanisme de transmissió vertical (a). En aquest cas, la informació es transmet entre un individu d'una generació i un altre individu d'una generació posterior. Aquest seria el cas de l'ensenyament de pares a fills, per bé que el parentiu biològic no tindria cap efecte rellevant. La principal característica d'aquest mecanisme és que es tracta d'un procés de canvi lent; és necessari que passi, de mitjana, una generació (25 anys, en termes biològics) per a que una persona esdevingui transmissora. El segon mecanisme seria el de transmissió horitzontal (b). En aquest cas la informació es transmet entre individus de la mateixa generació, per tant la velocitat de difusió és major que en el cas anterior, ja que es pot produir en una sola generació. Una variant seria el de transmissió obliqua (c), quan el transmissor pertany a una generació anterior a la del receptor. En aquest cas es contempla el pas d'una informació d'una generació a una altra, cosa que no podria donar-se en el mecanisme de transmissió horitzontal. El tercer mecanisme seria la transmissió d'un a molts (d). En funció del poder o prestigi del transmissor, aquest pot ser el mecanisme a través del qual el canvi es produiria de manera més ràpida. El quart mecanisme seria el contrari a l'anterior; la transmissió de molts a un (e). De tots els mecanismes, aquest és el que presenta menors probabilitats de canvi.



**Figura 2.** Mecanismes de transmissió cultural segons Cavalli-Sforza (1997: 182).

Eerkens i Lipo (2005) proposen un model basat en el mecanisme de transmissió vertical. Els autors argumenten que el procés de variació sobre una variable pot ocórrer en tres diferents escenaris: durant la transmissió d'informació (per exemple, en el moment en el que un mestre artesà dona una instrucció a un deixeble), durant l'execució d'aquesta instrucció, o com a resultat d'una variació en la matèria primera a partir de la qual es genera la variable en qüestió. Concretament, aquests autors centren la seva atenció en la variació que resulta d'errors involuntaris en la rèplica d'un mateix tipus d'artefacte, així com en el seu efecte al llarg del temps. Amb aquest objectiu generen un

model per a determinar el grau de variació aleatòria que es pot esperar en l'absència d'altres factors que no siguin els errors en la rèplica. Dit amb altres paraules, generen una hipòtesi nul·la a partir de la qual es poden considerar altres factors que puguin haver provocat la variació d'un disseny.

Aquest model s'assenta en una observació força interessant; la percepció sensorial de certes mesures està condicionada per la fisiologia humana. Basant-se en estudis realitzats des de la Psicologia, els autors assenyalen que els éssers humans mostren grans dificultats per a diferenciar mides quan aquestes es troben per sota d'un determinat límit (Eerkens i Bettinger 2001). És més, aquests errors en la percepció són relatius a la mida o a la intensitat d'allò que es mesura. Per exemple, en cas de voler diferenciar la mida de dues línies, una d'elles hauria d'ésser aproximadament un 3% més gran que l'altra. En cas contrari, l'observació a ull nu ens faria creure que són de la mateixa mida. Evidentment això no succeiria en presència d'un estàndard o punt de referència.

Els autors observen com aquests errors en la percepció són, en termes quantitius, extremadament constants en les poblacions humanes. A partir d'aquestes constatacions, els autors suggereixen un model sobre la generació i la propagació d'aquests errors en la producció d'artefactes, amb l'objectiu de poder estimar el grau de variació que es pot esperar d'aquest procés. Els autors conclouen que simplement per la imprecisió amb què les mesures són captades pels sentits, recordades i reproduïdes, es produeix una variació significativa que es transmet i s'amplifica al llarg del temps.

Eerkens i Lipo (2005) apliquen aquest model a les variacions en el gruix i en el diàmetre de les ceràmiques produïdes a Missouri i Il·linois en el període Woodland (600 aC-900 dC) (Braun 1983). Els resultats mostren com, en el cas del diàmetre, la variació al llarg del temps no pot ésser explicada només a partir de la introduïda pels errors en la rèplica dels artefactes. En conseqüència se suggereix que altres factors, com ara la invenció o l'experimentació de noves formes, haurien d'haver participat en la generació d'aquestes diferències.

### *1.3.1.6 El canvi tecnològic com a reflexe de la conducta*

Probablement, pocs investigadors s'han dedicat tant a l'estudi del canvi tecnològic com

Michael B. Schiffer i els seus col·laboradors (LaMotta i Schiffer 2001; Majewsky i Schiffer 2001; Schiffer 1991, 1992, 2001b, 2005a, 2005b; Schiffer *et al.* 2003; Skibo i Schiffer 2001; Skibo i Walker 2002; Skibo i Schiffer 2008; Zedeño 2000). Des dels seus inicis, el corrent teòric que representa Schiffer (*behavioral archaeology*) ha elaborat una multiplicitat de principis, models i formulacions generals que han permès atendre la variabilitat documentada en el registre històric i arqueològic des de diverses perspectives (Reid *et al.* 1974; 1975; Schiffer 1972, 1983).

Un dels primers temes en atreure l'atenció d'aquests investigadors va ser precisament el procés de formació del registre arqueològic (Schiffer 1972, 1983, 1987). Una de les observacions que amb més insistència s'ha proclamat des d'aquesta arqueologia és la importància de reconèixer aquest procés de formació com a responsable, en darrera instància, de la introducció de la variabilitat que es recupera en les excavacions. La presa en consideració d'aquest procés ha demostrat ésser fonamental per a millorar qualitativament les inferències realitzades sobre el passat (Montgomery i Reid 1990; Schiffer 1976, 1988, 1996; Sullivan 1978).

L'altra gran camp d'estudi és la tecnologia i la manera com aquesta afecta a la conducta humana en totes les activitats en les quals hi participa; des de la comunicació —verbal i no verbal— (Schiffer i Miller 1999a, 1999b), fins a les activitats rituals i la religió (Dobres 2001; LaMotta i Schiffer 2001; Skibo i Walker 2002). Aquesta recerca ha generat un gran nombre de models i conceptes, a partir de dades etnoarqueològiques i experimentals, que permeten abordar l'estudi de la tecnologia des de diversos vessants. Entre d'altres temes, aquests autors han creat una àmplia bateria de conceptes i models sobre els processos d'invenció i implementació de tecnologies (Schiffer 1991, 2005b; Schiffer *et al.* 1994a), sobre les causes de la seva adopció (Longacre *et al.* 2000; Schiffer 2002, 2005a), sobre els processos de rèplica (Skibo i Schiffer 1995), i sobre els factors específics que poden afectar el disseny d'un artefacte i el seu canvi al llarg del temps (Kingery 2001; Schiffer 2001b; Schiffer i Skibo 1987, 1997; Skibo i Schiffer 2001).

De tots els models formulats, el que resulta més rellevant en el context del nostre treball és el proposat per Schiffer i Skibo (1997), revisat i ampliat posteriorment pels mateixos autors (Skibo i Schiffer 2001). En aquest treball es proposa un marc teòric per

avaluar les causes de les variacions formals dels artefactes. Més concretament, aquest model considera de manera detallada els factors que, conscient o inconscientment, podrien haver afectat la conducta d'un artesà, i com aquests factors podrien haver provocat la modificació del disseny d'una tecnologia<sup>4</sup>. En resum, el model es proposa per respondre a la pregunta: per què un artefacte va ésser construït d'una determinada manera (i no d'altra)?

Aquest model es fonamenta en cinc components bàsics: (1) Cadena de comportament, (2) Activitats i interaccions, (3) Competències (*performance characteristics*), (4) Eleccions tècniques i compromisos, i (5) Matriu de competències.

1.- El punt de partida d'aquest model és la següent premissa: el disseny de qualsevol artefacte està condicionat, d'una manera o altra, per les activitats que tenen lloc al llarg de la seva història. Qualsevol tecnologia, des l'artefacte ceràmic més simple fins al sistema més complex, pot ésser definida resseguint les activitats que configuren la seva història. En el cas d'una ceràmica, per exemple, aquesta història inclouria, de manera esquemàtica, el procés de selecció de la matèria primera, el seu tractament, la seva posterior transformació en un producte concret, el seu ús i posteriors reutilitzacions, i la seva deposició final (Schiffer i Skibo 1997: 29).

La història de qualsevol artefacte pot ésser modelada d'infinat de maneres, en funció de la recerca que hom pretengui fer. Schiffer i Skibo fan servir el model denominat **cadena de comportament**. Aquest model inclou la seqüència de *totes* les activitats específiques en les que l'artefacte participa durant la seva existència (Skibo i Schiffer 2001: 141-142; Schiffer en premsa). Aquest model es diferencia de la seqüència operativa (*chaîne opératoire*), discutida més a dalt, perquè inclou totes les activitats en les que participa l'artefacte, i no simplement les que configuren el seu procés de manufactura.

Segons aquests autors, la necessitat d'especificar al màxim aquestes activitats és deguda a que totes i cada una d'elles poden condicionar potencialment el disseny d'un

---

<sup>4</sup> Per bé que aquesta teoria sobre la variabilitat dels artefactes sorgeix a partir d'una recerca sobre ceràmiques arqueològiques, concretament ceràmiques de cuina (Schiffer i Skibo 1987), les revisions i desenvolupaments posteriors (Schiffer i Skibo 1997, i especialment Skibo i Schiffer 2001), fan d'ella un model aplicable a qualsevol tecnologia (Skibo i Schiffer 2001: 140).

artefacte —sempre que hi hagi un procés de retroalimentació que afecti d'alguna manera al productor de l'artefacte (Schiffer i Skibo 1997: 32-33). Ho il·lustrarem amb dos exemples. El primer fa referència a l'estudi del canvi tipològic de les àmfores d'època hel·lenística procedents de l'illa de Cos (Hein i Kilikoglou 2007b). En aquest cas, els canvis en el disseny es tradueixen en un increment del volum dels envasos, i per tant de la seva capacitat de transport, alhora que es mantenen constants tant la quantitat d'argila necessària per a la fabricació d'una àmfora com les propietats tècniques dels envasos. Segons el model proposat per Schiffer i Skibo és plausible pensar que les activitats que amb major probabilitat varen influir en el canvi de disseny d'aquests envasos serien les relacionades amb el seu ús com a envasos de transport i amb les implicacions econòmiques que se'n poguessin derivar. Aquest seria un cas on la simple aplicació de la seqüència operativa no proporcionaria una resposta satisfactòria, ja que es negligirien moltes de les activitats de la cadena de comportament (Schiffer 1976: 53).

Un altre exemple és el proposat per Skibo i Schiffer (2001: 142) tot citant el treball de Petroski (1992). En aquest cas l'artefacte és el contenidor de les hamburgueses proveïdes per la cadena de menjar ràpid McDonalds. Aquests envasos, fets d'espuma de poliestirè, comptaven amb una sèrie de característiques que els feien el contenidor ideal per a aquest tipus de menjar (bona conservació de l'aliment, resistents a l'apilament, etc.). El seu funcionament era perfecte al llarg de la cadena de comportament, excepte pel que fa a dues activitats: la producció i la deposició. Aquests envasos eren produïts a base de clorofluorocarbons (un dels principals contaminants ambientals), precisament en un moment (a mitjan anys 80) en què la conscienciació sobre la destrucció de la capa d'ozó començava a exercir una considerable pressió en la opinió pública occidental. Els activistes ambientals pressionaren per evitar la deposició de milers de caps de poliestirè i aconseguiren un canvi en la tecnologia de producció: l'eliminació dels clorofluorocarbons.

Amb aquest exemple els autors emfatitzen la importància del concepte de la cadena de comportament: qualsevol activitat en la que participi un artefacte pot afectar la modificació del seu disseny.

2.- A partir de la cadena de comportament, la recerca ha de centrar la seva atenció en les



activitats específiques en les que participa l'artefacte i ha de poder identificar el conjunt d'interaccions que configuren cada una d'aquestes activitats.

Qualsevol manifestació de la conducta humana, és a dir, qualsevol **activitat**, està constituïda per varies **interaccions** entre diferents actors (persones, artefactes, fenòmens naturals, etc.) (Schiffer i Miller 1999a: 202-203). Les interaccions, considerades com les unitats mínimes de conducta, poden estar protagonitzades per diferents actors (persones-persones, persones-artefactes, artefactes-artefactes). Aquestes interaccions comporten, per definició, algun tipus de transacció de matèria o d'energia, ja sigui química, mecànica, tèrmica, elèctrica, electromagnètica, visual o acústica. Imaginem, per exemple, el cas d'una àmfora que és estibada en un vaixell. Aquesta activitat específica estaria formada per diverses interaccions; des de les interaccions visuals i acústiques entre les persones que participen de l'activitat (persones-persones), fins a les interaccions mecàniques entre l'àmfora i la persona que la carrega i l'estiba al vaixell (persones-artefactes) o entre dues àmfores estibades i en contacte (artefactes-artefactes).

En aquest model, la contribució de cada actor a una interacció específica es coneix com a *performance*. Per a que una activitat es pugui desenvolupar, cada actor ha de ésser capaç de realitzar la seva pròpia interacció, és a dir, la seva *performance* específica. Aquestes capacitats específiques són anomenades per l'arqueologia de la conducta com a *performance characteristics* (Schiffer i Miller 1999b: 16-20)<sup>5</sup>. Nosaltres ens referirem a aquest concepte amb el terme *competències*.

3.- En cada interacció entren en joc diverses **competències**, tant per part de les persones com dels artefactes. Les competències d'un artefacte (o d'una persona) són el conjunt de capacitats o habilitats específiques que li faciliten la progressió d'una interacció a una altra al llarg de la cadena de comportament (Schiffer i Skibo 1997: 31).

El concepte de competència s'acostuma a il·lustrar amb un exemple sobre la comunicació humana (Schiffer i Miller 1999a). Imaginem que una persona es presenta davant d'un tribunal acadèmic per a que li avalui la seva tesi doctoral. Imaginem que hi arriba brut, descambuixat i amb dificultats per parlar a causa d'una ingesta excessiva

---

<sup>5</sup> Per a altres definicions dels conceptes de *performance* i *performance characteristics* veure els treballs de Pfaffemberger (1992b), Braun (1983), O'Brien *et al.* (1994), Kingery (2001) i Petroski (2006).

d'alcohol. Sembla clar que, en aquest context, les competències mostrades pel doctorant no li facilitaran les interaccions. Doncs bé, tot i aquest exemple pot semblar irrellevant en una discussió sobre arqueologia, en el model proposat per Schiffer i Skibo (1997) representa el mateix tipus de procés que segueix qualsevol tecnologia. Imaginem ara el cas d'una ceràmica de cuina. Quan aquesta ceràmica es disposa a sobre del foc, ha de comptar aparentment amb una sèrie de competències que li permetin interactuar correctament amb els altres actors. Així, per exemple, ha de tenir la capacitat de resistir el xoc tèrmic, de retenir el seu contingut, efectivitat per a escalfar-ho, etc.

Al costat d'aquests competències, que tenen relació amb les interaccions mecàniques, tèrmiques o químiques, Schiffer i Skibo (1997, 2001) posen un especial èmfasi en el que anomenen competències sensorials (visuals, acústiques, tàctils, etc.) (*cf.* Jones i MacGregor 2002). A partir del que constaten en la seva recerca etnogràfica, els autors suggereixen que, en moltes ocasions, les competències sensorials poden ser tant o més importants que les que afecten estrictament el vessant tècnic de la tecnologia. Aquest seria el cas del que documenta Skibo (1994) entre la comunitat filipina dels Kalinga. Skibo observa com els membres d'aquesta comunitat dediquen molts d'esforços per eliminar mecànicament les restes de carbó que romanen en les olles d'alumini que fan servir per cuinar. Malgrat que saben que aquesta acció és contraproductiu i que redueix les expectatives d'ús de les olles, ho fan perquè consideren la brillantor de l'alumini (competència visual) com un indicador de riquesa i de prestigi, avantposen-ho a qualsevol altra competència tècnica.

Un exemple similar a aquest el podem trobar a partir de la nostra experiència quotidiana amb la cultura material més immediata. Actualment, la variació en moltes de les anomenades tecnologies de nivell d'usuari depenen més de les seves competències visuals, i de l'èxit de màrqueting, que no pas de les seves competències tècniques. Tot i això, són moltes les persones que estan temptades a baratar freqüentment els seus artefactes tecnològics: els telèfons mòbils serien un exemple paradigmàtic. El treball de Petroski (2006) ofereix un gran nombre d'exemples de com les competències sensorials poden afectar el canvi tecnològic dels artefactes.

Schiffer i Skibo adverteixen que hi ha moltes competències que potencialment poden afectar el canvi tecnològic, però, quines són les més rellevants? quines tenen més

influència en el disseny d'una tecnologia? A partir del seu model s'hauria de respondre amb un contundent: depèn de cada cas. Segons els autors, són els factors de situació els que, en darrera instància, determinen el valor d'una determinada competència. Aquests factors són definits pels autors de la següent manera:

*“[...] the behavioral, social, and environmental externalities that impinge on the activities of an artifact's behavioral chain and are embodied in each activity's specific components”*  
(Schiffer i Skibo 1997: 34).

D'això se'n desprèn que una mateixa competència pot ésser valorada de manera diferent en cada una de les activitats en la cadena de comportament. O el que és el mateix, diferents activitats de la cadena de comportament d'un artefacte poden prioritzar diferents competències. Una ceràmica de cuina que es disposi a ser venuda en un mercat ha de complir amb una sèrie de competències físiques i mecàniques per a complir la seva funció, però també ha de comptar amb unes competències visuals apropiades o, probablement, mai no serà adquirida (Schiffer i Skibo 2001: 144). En el model de Schiffer i Skibo, les competències d'un artefacte estan directament condicionades per les eleccions tècniques i els compromisos.

4.- En aquest model s'entenen com a **eleccions tècniques** totes les decisions que es prenen *durant* el procés de manufactura<sup>6</sup>. Aquestes eleccions són les que determinen les propietats materials de l'artefacte, i poden ésser mesurades en un laboratori, sense considerar qualsevol altra activitat posterior a la manufactura. Aquest seria el cas, per exemple, de la resistència a la fractura d'una ceràmica. Aquesta propietat dependria de la composició de la ceràmica, de la freqüència, mida i tipus del desgreixador, de la temperatura de cocció, de l'estat de sinterització de la matriu, etc. Uns paràmetres que poden ésser mesurats en un laboratori sense haver de tenir en compte les activitats posteriors a la manufactura.

---

<sup>6</sup> És important precisar que en els models formulats des de l'arqueologia de la conducta es distingeix entre eleccions tècniques (*technical choices*) i eleccions tecnològiques (*technological choices*). Les eleccions tècniques fan referència exclusivament a la conducta de l'artesà durant el procés de producció, mentre que el segon terme designa les eleccions fetes pels qui consumeixen o adopten una determinada tecnologia. Per a una discussió sobre aquests conceptes veure (Schiffer 2003) i (Sillar 2003).

Aquestes propietats materials afecten directament les propietats formals de l'artefacte, com ara el seu pes, densitat, forma, mida, color, etc. La fabricació d'una ceràmica a partir d'una pasta rica en matèria orgànica, en funció de les condicions de la cocció, pot donar com a resultat una fàbrica relativament més porosa i, per tant, menys densa i pesada que si s'hagués fet servir un desgreixador mineral. Com en el cas anterior, aquestes propietats formals també poden ésser mesurades independentment de qualsevol altra activitat posterior a la manufactura.

Tanmateix, des d'aquest model s'assenyala amb insistència la importància de diferenciar el que són les propietats físiques i formals dels materials, del que són les competències de la tecnologia en qüestió, el que, en darrera instància, ha de permetre avaluar una tecnologia i el seu canvi al llarg del temps (Schiffer 2001b). Una determinada competència pot estar condicionada per diferents eleccions tècniques. Per exemple, la resistència al xoc tèrmic, que és una de les competències que ha de tenir una ceràmica de cuina, pot dependre d'una multiplicitat de propietats formals, com la porositat de la fàbrica, la forma de la ceràmica, els diferents tractaments de superfície, etc., que estan determinades per les eleccions preses durant el procés de manufactura. Ara bé, segons aquest model, l'estudi de la tecnologia no es pot efectuar simplement amb la mesura de les propietats materials i formals dels artefactes, sinó que aquestes s'han d'avaluar en funció de les interaccions dels artefactes amb les persones i amb altres artefactes, especialment, durant les activitats posteriors a la manufactura.

Del que hem dit es desprèn que una elecció tècnica pot afectar diferents competències al llarg de la cadena de comportament, la qual cosa ens porta al concepte de **compromís**. La millora d'una competència, mitjançant la modificació d'una elecció tècnica, pot ésser contraproductiu per a una altra competència. Skibo i Schiffer (2001: 147) il·lustren aquesta proposició amb l'exemple d'una ceràmica de cuina. Millorar la resistència al xoc tèrmic d'una ceràmica es pot aconseguir mitjançant una cocció a baixa temperatura. Tanmateix, una cocció a baixa temperatura dona també com a resultat una ceràmica amb una baixa resistència a la fractura mecànica i, per tant, més susceptible de trencar-se. La solució, per tant, és indestriable d'un compromís: augmentant la temperatura de cocció s'aconsegueix un producte on les dues competències s'equilibren, facilitant, així, les interaccions. Segons aquests autors, el concepte de compromís és

fonamental per entendre el perquè del caràcter conservador que sovint s'atribueix a la tecnologia ceràmica. Donat que la modificació d'una elecció tècnica pot afectar diverses competències d'una ceràmica, aquesta tecnologia es veuria abocada a grans períodes d'estabilitat per evitar els efectes contraproductius que es podrien manifestar al llarg de la cadena de comportament.

5.- L'estudi del canvi tecnològic requereix, en moltes ocasions, explicar els diferents patrons d'adopció d'una determinada tecnologia. Generalment, les tecnologies no són adoptades de manera homogènia. D'una banda, diversos grups socials poden adoptar un mateix artefacte però en diferents intensitats. D'altra, poden haver-hi diferents dissenys d'un artefacte que siguin adoptats de manera diferent, tot i que, aparentment, la seva funcionalitat sigui la mateixa. Un exemple clar el representa el nostre cas d'estudi, on diferents dissenys d'àmfora, produïts en el mateix període cronològic i, sovint, dins dels mateixos tallers, mostren diferències aparents en els seus patrons d'adopció —producció i consum. Per abordar aquests diferents processos d'adopció, Schiffer i Skibo proposen elaborar el que anomenen **matriu de competències** (Schiffer 2000, en premsa; Schiffer i Skibo 1987, 1997; Skibo i Schiffer 2001; Skibo i Schiffer 2008). Aquesta matriu és de fet una taula de dades en la que es disposen les competències més rellevants de dues (o més) tecnologies que poden competir al llarg d'una mateixa cadena de comportament. Per a cada competència, s'indica amb un signe positiu o negatiu si la tecnologia en qüestió compleix (+) o no (-) amb els mínims requerits en cada activitat. Cal afegir que aquesta matriu també es pot construir a partir de valors quantitius o amb simples anotacions binàries de presència o absència (Skibo i Schiffer 2008: 116).

A partir dels patrons que resulten de les agrupacions dels signes (+) i (-), s'estimen quines competències varen ésser més valorades en cada activitat i quines ho varen ésser menys. En conseqüència, es proposen hipòtesis sobre quins factors poden haver afectat amb més intensitat el canvi del disseny d'una tecnologia o la seva diferent adopció.

Aquesta estratègia d'anàlisi es basa en la premissa que els potencials consumidors coneixen, d'una manera o d'altra, les competències de les diferents

tecnologies; en un procés que pot no ésser explícit, s'avaluen les diferències, valorant més o menys cada una de les competències, en funció dels factors de situació concrets (context polític, religió, ideològic, econòmic, demogràfic, etc.). Segons aquest model, és precisament aquesta diferent valoració el que determina l'adopció d'una determinada tecnologia.

La Taula 1.1 és un exemple de matriu de competències. La taula il·lustra la recerca de Schiffer (2005a) sobre el canvi tecnològic que es produeix a mitjan segle XIX en la construcció de fars i la seva diferent adopció en diversos estats. En aquest cas, la matriu de competències es fa servir per a plantejar hipòtesis sobre la diferent adopció de dues tecnologies; d'una banda, els fars que produïrien llum elèctrica, instal·lats per primera vegada a Gran Bretanya l'any 1859, i d'altra banda, els fars tradicionals que produïrien llum a partir de la combustió d'hidrocarburs, com oli o querosè.

Les competències s'agrupen en tres grans grups d'activitats en què haurien participat aquestes tecnologies: adquisició i instal·lació del sistema tecnològic, funcionalitat durant el seu ús, i operativitat, manteniment i reparació del sistema. A partir dels patrons que s'observen en l'agrupació dels signes (+) i (-), l'autor suggereix que el sistema tecnològic basat en la producció de llum elèctrica presentava unes competències molt febles pel que fa a les activitats relacionades amb l'adquisició, instal·lació, operativitat, manteniment i reparació. Per tant, interpreta que els estats que varen adoptar la tecnologia que produïa llum a partir de la combustió d'hidrocarburs haurien assignat una major importància als aspectes utilitaris i financers, evitant unes despeses econòmiques que es podien visurar amb facilitat. Al contrari, el fet que els estats que més fars elèctrics varen instal·lar fossin els de França i de la Gran Bretanya és interpretat com una prioritització de les competències simbòliques, amb uns propòsits clarament polítics (Schiffer 2005a).

Aquest és un exemple de com una matriu de competències pot ésser emprada per tal d'abordar explícitament els factors de situació concrets que, segons els autors, amb més probabilitat podrien haver influït en la valoració de les competències d'una tecnologia i afectat la seva adopció.

<b>ADQUISICIÓ DELS COMPONENTS I INSTAL·LACIÓ DEL SISTEMA</b>	<b>Elèctrica</b>	<b>Oli</b>
Facilitat per adquirir comercialment components del sistema	+	+
El sistema pot ésser instal·lat en fars en qualsevol indret	-	+
El sistema pot ésser fàcilment instal·lat en fars ja existents	-	+
Es poden assumir fàcilment els primers costos del sistema	-	+
Existència de tècnics adequats per al disseny i la instal·lació del sistema	-	+
<b>FUNCIONALITAT DURANT L'ÚS</b>	<b>Elèctrica</b>	<b>Oli</b>
Produeix la llum més brillant, blanca i penetrant	+	-
Produeix lluminositat suficientment homogènia	+	+
Redueix els riscos de parades de la llum	+	+
No produeix ombres que puguin causar confusió	-	+
Redueix el risc d'enlluernar els mariners	-	+
Habilitat per simbolitzar una actitud de preocupació vers els mariners i els vaixells	+	-
Pot simbolitzar la riquesa i el poder polític	+	-
Pot simbolitzar la modernitat	+	-
Pot simbolitzar proeses relacionades amb la innovació científica o tecnològica	+	-
<b>OPERATIVITAT, MANTENIMENT REGULAR I REPARACIÓ</b>	<b>Elèctrica</b>	<b>Oli</b>
Operatiu amb el personal tradicional ja existent	-	+
Operatiu sense sistemes addicionals de suport	-	+
Facilitat per reparar avaries	-	+
Es poden assumir fàcilment les despeses d'operativitat	-	+
Fàcil d'administrar	-	+

**Taula 1.1.** Matriu de competències. (A partir de Schiffer 2005b: Taula 1).

En resum, en el model proposat per Schiffer i Skibo (1987, 1997; Skibo i Schiffer 2001) s'aborda l'estudi del canvi tecnològic a partir de l'avaluació del disseny de la tecnologia i de la seva variació al llarg del temps. Segons aquests autors, la clau per entendre aquesta variació està en les interaccions específiques que tenen lloc entre persones i artefactes al llarg de la cadena de comportament, i en la identificació de les competències concretes de cada interactor. D'aquesta manera es poden avaluar quins són els factors que poden haver afectat més a la variació d'un disseny. Una de les millors maneres de realitzar aquesta avaluació seria mitjançant una matriu de competències on s'especifiquin els factors de situació i les competències específiques de cada activitat rellevant. Des d'una perspectiva conductual, per tant, les explicacions del canvi tecnològic requereixen de teories i models específics per a cada un dels casos en estudi.

### **1.3.2 L'aportació de l'Arqueometria. Una aproximació necessària**

Els estudis ceràmics en els quals les tècniques arqueomètriques d'anàlisi representen la base de la metodologia de treball es caracteritzen, generalment, per una tendència vers el positivisme teòric, amb els efectes que això pot tenir en la interpretació de les dades, específicament en els estudis canvi tecnològic (Loney 2000a). En qualsevol cas, la incorporació de tècniques d'anàlisi provinents de les ciències dels materials, i d'altres ciències experimentals, han permès millorar substancialment els estudis tecnològics sobre materials arqueològics. En aquest sentit, l'impacte favorable que ha tingut l'arqueometria en l'estudi de la tecnologia i, per extensió, del canvi tecnològic, és incontrovertible (Blackman i Bishop 2007; Henderson 2000; Kilikoglou *et al.* 2007; Mandó 2005; Mirti i Davit 2004; Olin i Franklin 1982; Rice 1987; Schiffer i Skibo 1987; Sillar i Tite 2000; Tite 1999; Vandiver 2001).

En el cas concret de les ceràmiques, des de les ciències dels materials s'han implementat programes experimentals que han permès, d'una banda, millorar els coneixements existents sobre aspectes com, per exemple, quin tipus de matèria primera va ésser emprada en la confecció de les peces, com va ésser processada o com es va emprar la ceràmica, en un ampli espectre de períodes i d'àrees geogràfiques. D'altra banda, els experiments realitzats, bé directament sobre fragments de ceràmiques



arqueològiques, bé sobre rèpliques, han proporcionat una gran cos de dades que també permeten establir teories d'aplicació més universal sobre les propietats dels materials, tant de les matèries primeres i de les tècniques de manufactura com dels productes ceràmics manufacturats i de les seves competències durant les activitats posteriors a la manufactura.

Tanmateix, fins a quin punt és pot considerar necessària una aproximació arqueomètrica en l'estudi del canvi tecnològic? Per a alguns, aquesta pregunta ja hauria obtingut una resposta satisfactòria amb els dos paràgrafs anteriors. L'arqueometria ha proporcionat caracteritzacions tecnològiques que permeten establir principis generals sobre el comportament dels materials quan són sotmesos a unes determinades condicions. Així doncs, si el que es pretén és caracteritzar, és a dir, marcar, descriure pels trets propis una tecnologia, i avaluar-ne les variacions que mostra al llarg del temps i l'espai, sembla necessària l'aplicació de tècniques d'anàlisi pròpies de les ciències experimentals (Tite 1999; Tite *et al.* 2001). De cap altra manera es podrien extreure conclusions vàlides i contrastables a partir les dades del registre arqueològic. Ara bé, des de la nostra perspectiva, aquesta resposta no és del tot satisfactòria car manté, de manera implícita, una visió en què l'explicació del canvi es debat en dominis causals. Dit d'altra manera, des d'aquest posicionament es tendeixen a generar models explicatius que plantegen el canvi com a un procés governat per particions virtualment independents; la causa principal del canvi bé rau en un factor tècnic, bé en altres factors culturals, socials o ideològics (veure aquesta discussió en Schiffer i Skibo 1987). Un reflex d'aquest plantejament serien, per exemple, les categories d'estil i funció definides des de l'arqueologia evolucionista, o les categories de *techno-function*, *socio-function* i *ideo-function* encunyades des de l'arqueologia de la conducta per a referir-se a les possibles funcions que pot acomplir un artefacte (Schiffer 1992).

Des de la nostra perspectiva entenem que qualsevol tecnologia està, per definició, modelada en funció d'uns compromisos, que poden ésser de natura econòmica, ideològica, social, política, o tècnica. Ara bé, tan important com això és la idea que aquests compromisos no necessàriament han de respondre a una lògica racional i evident per si mateixa, per bé que, en qualsevol cas, han d'ésser internament consistents al sistema al que pertanyen. Així mateix cal afegir que, com s'ha proclamat

amb insistència, especialment des de la filosofia de la ciència, el canvi tecnològic no reflecteix necessàriament un procés teleològic, és a dir, un seguit de fites que són assolides inexorablement com a resultat d'una cerca constant vers l'eficiència i la millora (Bauchspies *et al.* 2006; Bijker i Law 1992; Dusek 2006; Fuller 2006).

Acceptant aquestes premisses sobre el canvi tecnològic, la participació d'una aproximació arqueomètrica és necessària en la mesura que possibilita el modelatge dels compromisos que dissenyen una tecnologia, i només així, és possible avaluar com aquests compromisos varien al llarg del temps i de l'espai. És precisament la possibilitat de modelar els compromisos que configuren qualsevol tecnologia el que permet anar més enllà de qualsevol partició causal. L'aproximació arqueomètrica ha de permetre, a partir de la caracterització de les competències de la tecnologia i del modelatge posterior dels compromisos, aprofundir en els factors de situació concrets que haurien condicionat la seva producció i el seu consum. D'aquesta manera, els vessants ideològics o socials, per exemple, queden definits en la mateixa categoria que el vessant tècnic o utilitari, això és, com a components afaiçonadors d'una tecnologia. El fet que la variació en el disseny d'un artefacte pugui ésser interpretada com una clara millora tècnica és indestruïble de la càrrega ideològica que això comporta (Pfaffenberger 1992a, 1992b, 2001). La clau no són tant les competències d'una tecnologia sinó el compromís que explica la seva configuració. Només mitjançant una arqueometria del canvi tecnològic és possible la dilucidació d'aquests factors.

A continuació presentarem un breu estat de la qüestió sobre els treballs arqueomètrics que considerem més rellevants en el context d'aquest treball. Es posarà una especial atenció en les aportacions teòriques sobre els mecanismes i els procediments de mesura d'algunes de les propietats materials que són examinades en el nostre cas d'estudi. Aquest serà el cas, per exemple, de les propietats mecàniques de resistència a la fractura i de resistència a la fractura Hertziana. Cal precisar que no tots els treballs s'han realitzat des d'una perspectiva diacrònica, ni situen el procés de canvi tecnològic en el centre del seu discurs. No obstant creiem adient fer-ne esment ja que, si més no, proporcionen una perspectiva més àmplia dels estudis tecnològics realitzats sobre ceràmiques arqueològiques.

### 1.3.2.1 Estat de la qüestió de la recerca arqueomètrica

Bona part de la recerca arqueomètrica que s'ha dedicat a la caracterització tecnològica de ceràmiques arqueològiques presenta dos trets característics pel que respecta a la interpretació de les dades. El primer és una clara tendència vers el positivisme teòric, mostrant, en molts casos, una concepció de la tecnologia com si es tractés d'un fenomen determinat per una tendència natural i progressiva cap a l'eficiència; el que hem anomenat una visió teleològica de la tecnologia. El resultat són uns models lineals, marcats per l'assoliment de “fites tecnològiques” gràcies a les variacions de caràcter tècnic que els artesans haurien introduït en el seu *modus operandi*. El segon tret està íntimament relacionat amb el primer, fins i tot podríem dir que n'és una conseqüència lògica. En molts dels treballs que s'estudia la tecnologia des d'una perspectiva diacrònica, la interpretació de les dades quantitatives finalitza amb la reconstrucció de la tecnologia, com a quelcom predictable, obviant, entre d'altres, els processos cognitius que, com ha estat demostrat reiteradament des de la Psicologia social, participen de manera rellevant en la presa de decisions (veure Cooper 2007, i referències en el seu interior). Així mateix, hi ha hagut, fins no fa gaire, una clara tendència a fer servir una analogia de l'evolució biològica en la interpretació de les dades, sense que això hagi comportat necessàriament un reconeixement explícit, per part dels autors, de cap influència teòrica del corrent evolucionista.

En gran mesura, això és degut a la formació de la majoria d'investigadors que es dediquen a l'arqueometria. La majoria d'aquesta recerca ha estat realitzada per científics formats en ciències experimentals, especialment per físics, químics, geòlegs, així com per gent formada en ciències dels materials. Això ha suposat, no sols diferències importants en la manera d'entendre el registre arqueològic i les seves variacions, sinó també importants problemes de comunicació entre científics experimentals i arqueòlegs<sup>7</sup>.

Gran part dels estudis arqueomètrics sobre ceràmiques es basen en la caracterització composicional. Analitzar la composició química de les ceràmiques és el principal punt de partida de molts estudis de provenença, per bé que també ha demostrat

---

<sup>7</sup> Aquesta discussió ha estat plantejada recentment per Jones (2004). Veure també els comentaris sobre aquest article a (Boivin *et al.* 2005).

tenir unes importants implicacions en l'estudi tecnològic (Blackman *et al.* 1993; Buxeda *et al.* 2003; Dias i Prudêncio 2007; Kilikoglou *et al.* 2007; Picon 1973). Un aspecte interessant es refereix al concepte d'estandardització de la producció. L'estandardització s'ha d'entendre com un concepte relatiu de la homogeneïtat que presenta una producció determinada (Rice 1991), de tal manera que a major estandardització menor hauria d'ésser la variabilitat existent en les característiques d'una ceràmica. A partir d'aquest concepte s'ha plantejat la hipòtesis que les ceràmiques produïdes en grans quantitats, és a dir, les que sortirien d'un procés de producció en massa, haurien de presentar un alt nivell d'estandardització; és el que Blackman i col·laboradors (1993) anomenen la hipòtesi de l'estandardització.

En la literatura estrictament arqueològica i etnoarqueològica, el grau d'homogeneïtzació d'una producció ceràmica s'ha examinat bàsicament a partir de l'estudi de la variabilitat existent en les dimensions formals de les peces (Costin i Hangstrum 1995; Eerkens i Bettinger 2001; Kvamme *et al.* 1996; Longacre 1999; Roux 2003). La recerca arqueomètrica ha ampliat aquesta aproximació amb l'avaluació de la variabilitat existent en la composició química dels conjunts ceràmics (Blackman *et al.* 1993; Buxeda i Gurt 1998; Buxeda *et al.* 2003; Rice 1991).

Blackman i col·laboradors (1993), per exemple, examinen mitjançant MER, MO i ANN el grau d'estandardització en ceràmiques fines de taula del 2300 aC procedents de Leilan (Síria). Les anàlisis es realitzen sobre un conjunt recuperat en un abocador d'un centre productor i en un altre conjunt recuperat en un context domèstic. La variabilitat en la composició química de les ceràmiques és mesurada en termes de coeficient de variació per a cada element. En aquest cas, els autors constaten un elevat grau d'homogeneïtat química en el conjunt procedent de l'abocador, interpretant-ho com una constatació de la hipòtesi de l'estandardització.

Aquesta problemàtica és abordada per Buxeda i col·laboradors (2003) en un estudi etnoarqueomètric sobre una indústria domèstica contemporània a Pereruela (Espanya). A partir d'un complet programa analític, incloent ANN, FRX, DRX, MER i MO, observen com la variabilitat química d'un conjunt de ceràmiques fabricades en el mateix centre, durant el mateix període i amb la mateixa tecnologia pot no ésser tan baixa com s'esperaria *a priori*. En aquest cas concret, la variabilitat no s'explica per cap

factor de tipus tècnic, sinó que va lligada a una variabilitat geoquímica.

Tanmateix, pel que respecta a l'estudi tecnològic, el principal interès de la recerca arqueomètrica ha estat la caracterització de les propietats físiques de les ceràmiques per, així, poder avaluar-ne el seu comportament durant diferents activitats d'ús. En general, s'assumeix que depenent de les activitats en què participaria una ceràmica unes propietats s'adequaran més o menys a la seva funció. Per exemple, i de manera esquemàtica, s'espera que una ceràmica de cuina presenti una bona resistència al xoc tèrmic, mentre que aquesta característica no seria requerida, en principi, per una àmfora.

Una de les classes ceràmiques que més atenció ha rebut per part dels investigadors és la ceràmica de cuina. En aquest cas, el principal objectiu ha estat la caracterització de les ceràmiques per tal d'identificar les possibles eleccions tècniques dels ceramistes (tipus d'inclusions no plàstiques, tipus d'argila, temperatures de cocció, etc.) i establir-ne relacions amb les principals competències requerides per aquestes ceràmiques. Una de les propietats més estudiades ha estat la resistència al xoc tèrmic, això és, la capacitat d'una ceràmica per suportar, sense trencar-se, l'estrès provocat pels canvis de temperatura que es produeixen durant el se ús (Picon i Olcese 1995; Tite i Kilikoglou 2002).

Un dels primers treballs en què s'observa la importància del desgriexador (freqüència, tipus i mida) en les propietats mecàniques i tèrmiques de les ceràmiques és el de Braun (1983)<sup>8</sup>. En aquest treball s'estudia la variació en la producció de ceràmiques de cuina procedents de diversos jaciments del període Woodland (600 aC-900 dC), a l'est dels Estats Units. L'autor observa que al llarg del temps es produeix un canvi que afecta a la forma de les ceràmiques. Les bases esdevenen progressivament més esfèriques i es redueixen els angles entre la base i les parets. Paral·lelament, es redueix el gruix de les parets, així com la freqüència i la mida de les inclusions no plàstiques. Braun interpreta aquest canvi tecnològic com el resultat d'una recerca dels ceramistes per aconseguir uns productes amb millor efectivitat tèrmica, és a dir, amb

---

<sup>8</sup> És important recordar que no és fins a finals de la dècada dels 70 i principis dels 80 quan es comença a entendre el desgriexador com una elecció del ceramista que pot tenir importants implicacions de caràcter tècnic. Una excepció remarcable és el treball d'Anna Shepard (Shepard 1956).

una conducció més ràpida de la calor de l'exterior a l'interior de la ceràmica, i major resistència al xoc tèrmic. Segons l'autor aquest canvi hauria esdevingut necessari en introduir-se una nova dieta, que requeriria d'una cocció més prolongada dels nous aliments. Del treball de Braun es desprèn que els ceramistes, seguint un mecanisme d'assaig-error, haurien esbrinat que la reducció del gruix de les parets, així com les formes més globulars, comporten una major resistència al xoc tèrmic (Tite i Kilikoglou 2002). Així mateix, la disminució de la resistència mecànica, o el que és el mateix, l'augment de la fragilitat dels envasos que suposa la reducció del gruix de les parets, s'hauria corregit amb el canvi en la forma de les peces (fent-les més globulars) i en la reducció de la mida del desgreixador que, com explicarem més endavant, comporta un increment de la resistència mecànica a la fractura.

Un any després del treball de Braun es publica el que considerem un exemple paradigmàtic d'interpretació teleològica del canvi tecnològic. Ens referim al treball de Vincas Steponaitis (1984) sobre la ceràmica de cuina procedent de Moundville (Alabama) del període 1000 aC-1500 dC. Durant aquest període es produeix un canvi seqüencial en el tipus de desgreixador emprat en la confecció de les ceràmiques. Primer es fan servir desgreixadors d'origen vegetal, després de quars (de granulometries progressivament més petites), xamota i, finalment, calcita. En aquest treball es calcula la resistència a la fractura (tensile strength) i el mòdul de Young d'aquestes ceràmiques per tal d'avaluar l'efecte que tindrien els diferents desgreixadors en les propietats tèrmiques. Els resultats mostren un increment progressiu en la resistència al xoc tèrmic, que és interpretat com la culminació d'una llarga cadena de millores destinades a trobar la ceràmica de cuina ideal, representada per la ceràmica amb desgreixador de calcita (Steponaitis 1984: 108-111). Com ja va fer Braun, l'autor també interpreta l'existència d'un procés d'assaig-error mitjançant el qual els ceramistes aconseguirien uns productes que, progressivament, s'adequarien millor a la seva funció utilitària. Però encara va més enllà en suggerir que aquest procés de canvi no és més que el corol·lari lògic d'una societat amb tendència natural vers l'eficiència (Steponaitis 1984: 111).

L'interès per avaluar l'efecte que poden tenir diferents tipus de desgreixador sobre la resistència a la fractura i la resistència al xoc tèrmic en les ceràmiques és reprès per un interessant programa experimental desenvolupat per Bronitsky i Hamer (1986).

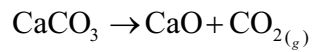
Els autors presenten una explicació comprensiva d'alguns dels mecanismes responsables del trencament i la fallida d'una ceràmica. Així mateix, introdueixen una sèrie de conceptes que esdevindran bàsics en els estudis arqueomètrics posteriors sobre propietats mecàniques. En aquest treball ja es diferencia, d'una banda, el fenomen d'aparició de la fractura (que els autors anomenen *cracking*) i, d'altra, el de fallida completa de la ceràmica, és a dir, el moment en què la ceràmica perd completament la seva integritat estructural (denominat pels autors *shatter*). Aquests conceptes, així com els mecanismes que governen aquestes propietats mecàniques seran explicats i ampliat posteriorment per Kilikoglou i col·laboradors (1995; 1998) i Tite i col·laboradors (2001).

El programa experimental és realitzat sobre rèpliques de ceràmica desgreixada amb sorra, calcita i calcita calcinada, en diferents granulometries, i cuites a diferents temperatures (600, 800 i 1000°C). La discussió de Bronitsky i Hamer ja apunta la importància de la microestructura de la ceràmica en el seu comportament mecànic (Bronitsky i Hamer 1986: 97-98). Constaten la relació inversa entre la quantitat de partícules desgreixadores i la resistència a la fractura, així com el fet que l'aparició de fractures està condicionada per diversos factors, destacant-ne la natura del lligam atòmic i la quantitat de defectes o microfractures presents a la matriu. Igualment es demostra com la presència de partícules no plàstiques, microfractures, o imperfeccions d'altres tipus en la matriu, provoca la concentració de l'estrès responsable de l'aparició de les fractures per bé que, al mateix temps, propicia una major resistència a la seva propagació.

Un aspecte interessant d'aquest estudi és la constatació de les importants diferències de comportament entre les ceràmiques fetes a partir de pastes calcàries i de pastes poc calcàries<sup>9</sup>. Aquest calci pot estar present a l'argila de manera natural, o ésser afegit en forma de calcita o d'aragonita, material del que estan fetes les closques de molts crustacis (Velde i Druc 1999). Quan el carbonat de calci és sotmès a altes temperatures es descompon en òxid de calci i diòxid de carboni, segons la següent equació:

---

<sup>9</sup> Generalment es considera una ceràmica calcària la que presenta una concentració superior a 5-6% en CaO



La temperatura a la qual es produeix aquesta dissociació pot variar en funció de les condicions de les atmosferes de cocció (oxidants-reductores), la freqüència i mida de les inclusions, i del règim de temperatures a l'interior del forn. No obstant, aquest fenomen es produeix generalment entre 700-900 °C (Picon 1973: 16; Velde i Druc 1999: 103-104). Amb l'augment de temperatura, aquesta dissociació afavoreix, d'una banda, que el calci (CaO) reaccionï amb altres components de la pasta argilosa i formi minerals d'alta temperatura, com la wollastonita (CaSiO<sub>3</sub>) o la gehlenita (Ca<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>SiO<sub>7</sub>), i d'altra banda, l'alliberament del diòxid de carboni (CO<sub>2</sub>) que provoca l'aparició d'una microestructura cel·lular (Maniatis i Tite 1981; Maniatis *et al.* 1981; Maniatis *et al.* 1983). El fet que la temperatura de cocció no es mantengui el temps suficient per a que el calci reaccionï amb altres components de la pasta pot provocar l'aparició d'esquerdes i fractures en la ceràmica. L'òxid de calci lliure reaccionaria amb el vapor d'aigua present a l'atmosfera per formar hidròxid de calci (Ca[OH]<sub>2</sub>), un mineral que té aproximadament el doble de volum que l'òxid de calci. Aquest augment pot causar fàcilment l'aparició d'esquerdes en la ceràmica i facilitar-ne el seu trencament. Aquests efectes seran més importants quan major sigui la mida de la calcita.

Bronistky i Hamer (1986) suggereixen que els antics ceramistes podrien haver reduït els problemes de la dissociació de la calcita calcinant-la abans de ser afegida a la pasta argilosa. Aquest procediment, a més, hauria suposat que el coeficient d'expansió tèrmica del desgreixador fos similar al de la matriu argilosa, reduint la probabilitat d'aparició de fractures a causa de les contraccions i expansions de la ceràmica quan aquesta està en contacte amb el foc (Tite i Kilikoglou 2002). Els autors conclouen que les ceràmiques amb desgreixador de calcita calcinada presentarien una major resistència a l'aparició de fractures i, a més, conservarien la seva integritat estructural més temps en cas de suportar un estrès continuat<sup>10</sup>.

A unes conclusions similars arriben Hoard i col·laboradors (1995). En aquest cas es reprèn el discurs sobre la idea que l'utilització de pastes calcàries ha de suposar algun avantatge tècnic donats els evidents inconvenients que provoca el fenomen de la

<sup>10</sup> Per a una crítica de la interpretació dels resultats i de la metodologia emprada veure (Feathers 1989).



dissociació de la calcita. Per comprovar aquesta hipòtesis examinen la resistència mecànica a la fractura, la deformació i la tenacitat de diferents rèpliques ceràmiques amb desgreixadors de quars, xamota i calcita. A partir dels resultats, els autors conclouen que les pastes calcàries serien més fàcils de pastar i que, per tant, resultaria més fàcil confeccionar peces amb formes més globulars i de parets menys gruixudes, característiques que afavoririen la resistència a l'estrès mecànic i, possiblement, tèrmic (Hoard *et al.* 1995: 831).

Les propietats mecàniques i les seves implicacions en el canvi tecnològic són una de les grans línies de recerca del *Laboratory of Traditional Technology, University of Arizona* (Beck 2002; Beck *et al.* 2002; Longacre *et al.* 2000; Mabry *et al.* 1988; Neupert 1994; Schiffer i Skibo 1989; Schiffer *et al.* 1994b; Skibo *et al.* 1989b). D'aquests treballs cal destacar-ne el de Neupert (1994) en el que presenta el disseny d'un aparell per a mesurar la resistència a la fractura en flexió biaxial. Aquest test, que simularia els impactes lleugers que podria patir una ceràmica involucrada en activitats domèstiques (Neupert 1994: 710), és aplicat a ceràmiques de taula (Cibola ware) procedents de varis jaciments del sud-oest nord-americà, del període 700-1200 dC. Neupert observa que la composició química de les ceràmiques i el gruix de les paret no varia significativament durant aquest període, a diferència del que passa amb la resistència a la fractura, que augmenta aproximadament un 70%. L'autor interpreta que aquest augment pot respondre a la voluntat de produir ceràmiques amb una expectativa de vida més llarga. L'aspecte més interessant d'aquest treball és, no obstant, la reflexió sobre la manera en què les propietats mecàniques de les ceràmiques poden afectar a la formació dels conjunts ceràmics que es documenten en el registre arqueològic (Neupert 1994: 719).

La metodologia proposada per Neupert és revisada i modificada per Beck (2002). Aquesta autora calcula la resistència a la fractura d'un conjunt de ceràmiques de taula procedents de diversos jaciments d'Arizona del període 950-1100 dC. Malgrat que s'observa un augment considerable en la resistència dels envasos, no s'aconsegueix proporcionar cap interpretació satisfactòria d'aquest fet (Beck 2002: 567-568).

L'altre centre des del que s'han desenvolupat els principals estudis sobre propietats mecàniques és el *Laboratory of Archaeometry* del NCSR "Demokritos",

d'Atenes (Hein i Kilikoglou 2007a, 2007b, en premsa; Kilikoglou i Vekinis 2002; Kilikoglou *et al.* 1995; Kilikoglou *et al.* 1998; Tite *et al.* 2001; Vekinis i Kilikoglou 1998). L'estudi de Kilikoglou i col·laboradors (1995), ampliat posteriorment (1998), enceta una sèrie d'experiments sobre l'efecte que pot tenir la variació de la mida i la freqüència del desgreixador en les propietats mecàniques de les ceràmiques. en aquests treballs es presenta, també, una explicació teòrica detallada dels mecanismes responsables del trencament i la fallida d'una ceràmica. L'interès d'aquests autors es centra principalment en els paràmetre de resistència a la fractura i de tenacitat.

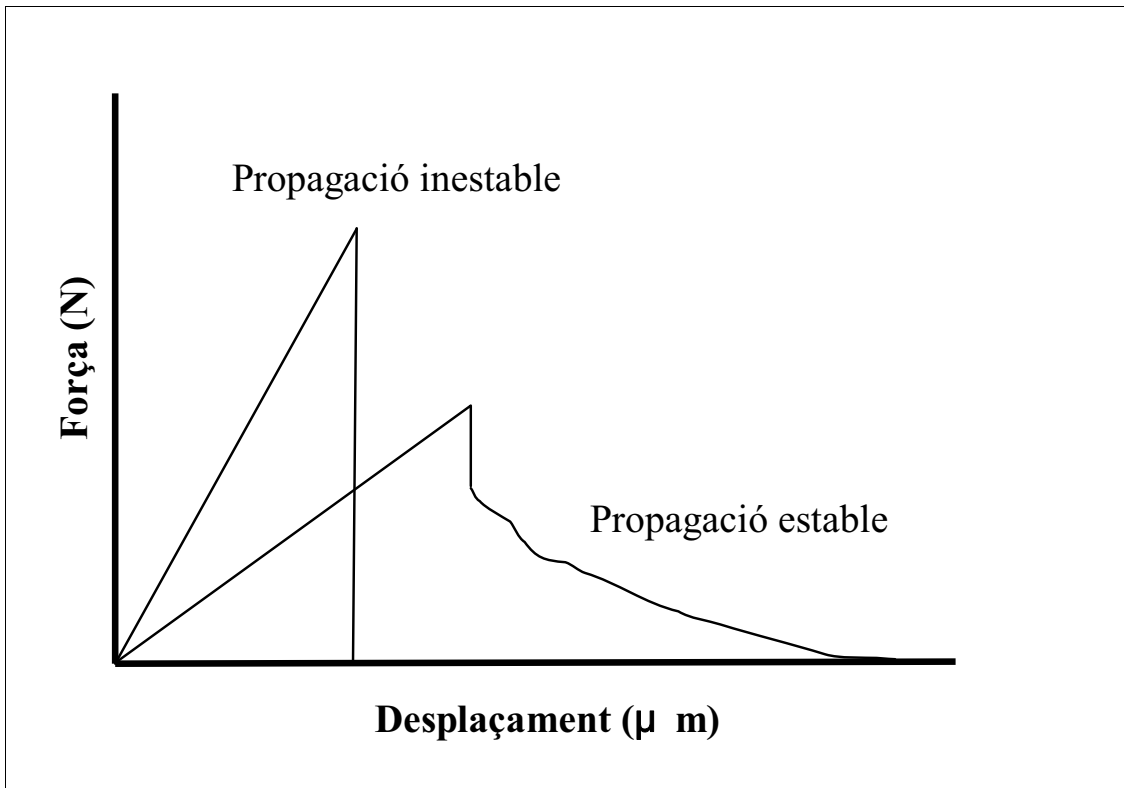
La resistència a la fractura d'una ceràmica és definida com la quantitat màxima d'estrès que pot suportar sense trencar-se. Com ja s'havia apuntat en el treball de Bronistky i Hamer (1986), aquesta propietat depèn en gran mesura de la quantitat i de la mida d'imperficcions presents a la matriu, car són aquestes imperficcions les responsables de la concentració de l'estrès que provoca l'aparició d'una fractura. En el cas de ceràmiques amb desgreixador<sup>11</sup>, la fractura es propaga al llarg de la matriu, de manera que la resistència a la fractura, en aquests casos, depèn tant de la freqüència i mida de les partícules no plàstiques com de l'estat de vitrificació de la matriu ceràmica i, per tant, de la temperatura de cocció (Kilikoglou *et al.* 1995, 1998). De manera intuïtiva es pot entendre que amb l'augment de la temperatura de cocció, les partícules argiloses es fonen, unes amb les altres, per formar una fase vítria. Quant major sigui la temperatura de cocció, més fase vítria es formarà i, en conseqüència, major resistència a la fractura (Henderson 2000: 132-133). D'altra banda, s'entén per tenacitat la capacitat de la ceràmica per dissipar energia, un cop s'ha iniciat la fractura. Els mecanismes pels quals es comporten aquests dos paràmetres, resistència a la fractura i tenacitat, s'han d'entendre en termes de compromís. L'increment d'un suposa la reducció de l'altre. Així, per exemple, una baixa concentració de desgreixador junt a una elevada temperatura de cocció produiran un ceràmica amb una gran resistència a la fractura però baixa tenacitat. Per contra, una ceràmica amb major concentració de partícules desgreixadores i cuita a baixa temperatura mostrarà una baixa resistència a la fractura

---

<sup>11</sup> És important precisar les diferències entre els conceptes d'*inclusions no plàstiques* i de *desgreixador*. Amb el terme desgreixador farem referència al conjunt de partícules no plàstiques que han estat afegides a la pasta argilosa per la voluntat expressa del o la ceramista. Per tant, només utilitzarem aquest terme quan pugui ésser demostrat, o si més no, quan es tinguin certs indicis d'aquesta activitat intencionada.

però una alta tenacitat. Dit d'altra manera, a una ceràmica cuita a alta temperatura i amb poques partícules desgreixadores serà molt més difícil que aparegui una fractura que no pas en una ceràmica cuita a baixa temperatura i amb més desgreixador. Ara bé, un cop aquesta fractura apareix, es propagarà molt més fàcilment en la primera ceràmica que no en la segona, essent més ràpida la seva fallida, és a dir, la pèrdua de la seva integritat estructural.

Així doncs, una aproximació a les propietats mecàniques de les ceràmiques arqueològiques requereix de la consideració, primer, de l'aparició de les fractures i, segon, de la manera en què aquestes es propaguen al llarg de la matriu fins a provocar la fallida complerta de l'envàs. Kilikoglou i col·laboradors (1995, 1998) diferencien entre dos models teòrics de propagació de les fractures: 1) propagació inestable i 2) propagació estable (Figura 3). En el primer cas, quan l'estrès aplicat a una ceràmica és suficient per a provocar l'aparició d'una fractura, aquesta es propaga al llarg de la matriu, sense que es produeixi cap dissipació d'energia, provocant la seva fallida de manera gairebé immediata. En el segon cas, la fractura queda arrestada immediatament, produint-se una dissipació d'energia. En aquest cas, la fallida complerta de la ceràmica requereix d'una aplicació continuada d'estrès. Com pot ésser observat a la Figura 3, l'augment de la tenacitat, és a dir, una major dissipació d'energia durant la propagació d'una fractura, s'acompanya d'una menor resistència. La relació contrària també es produeix.

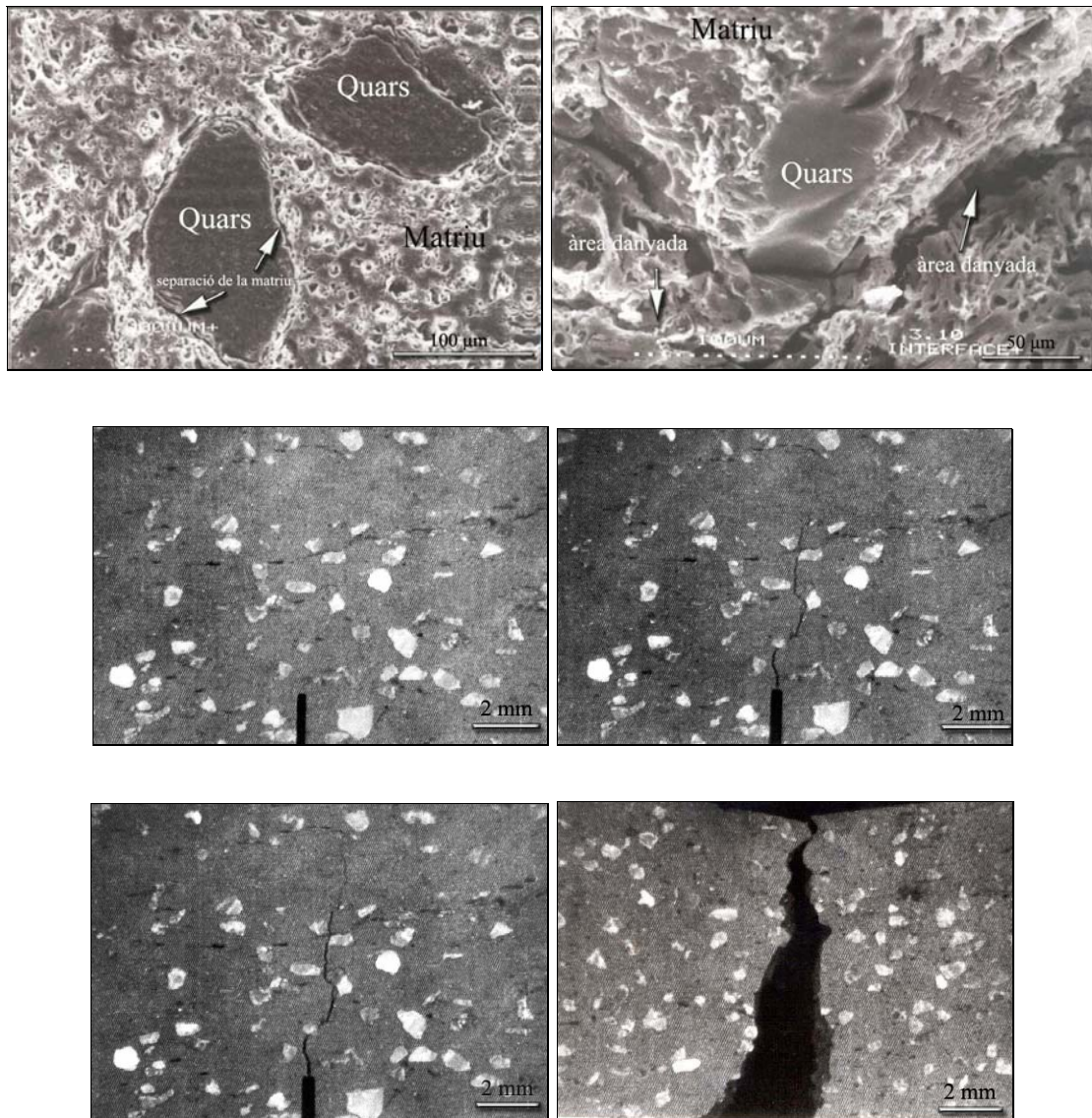


**Figura 3.** Models de propagació de les fractures (A partir de Kilikoglou *et al.* 1995, 1998).

Però, a què és deguda la dissipació d'energia? Què pot causar que una ceràmica es comporti d'una manera o d'altra? Kilikoglou i col·laboradors (1995, 1998) suggereixen que la cocció de la ceràmica i la concentració de desgreixador són els principals responsables. Aquests autors practiquen una sèrie d'experiments per a calcular la resistència i la tenacitat de maonets fets a partir de pastes calcàries (15% CaO), amb diferents concentracions (5, 10, 20, 40%, en fracció per volum) i mides (100, 250, 400, 750 μm) de desgreixador de quars, cuits a 950°C. Els resultats mostren que una concentració inferior al 10% de quars resulta en una propagació inestable de la fractura, amb alta resistència però poca dissipació d'energia, és a dir, poca tenacitat. Al contrari, una concentració entre 10-20% resulta en una propagació estable, amb una reducció de la resistència a la fractura, però amb una alta tenacitat. Una concentració superior al 20% no proporciona cap increment considerable de la tenacitat, però sí una reducció de la resistència. A més, s'observa que, si bé l'augment de la mida del quars

suposa una reducció important de la resistència, aquesta no afecta significativament al model de fractura (Kilikoglou *et al.* 1995: 2961-2962).

Aquests autors monitoritzen el mecanisme d'una fractura mitjançant microscòpia òptica (MO) i microscòpia electrònica de rastreig (MER). Observen que la dissipació d'energia es produeix en la interfície de la matriu i el desgreixador. Aquesta interfície queda modelada pels diferents coeficients de dilatació i contracció de la pasta argilosa i del desgreixador. Primer, quan una peça crua s'eixuga a temperatura ambient es produeix una contracció de l'argila que, al no ésser acompanyada pel quars, provoca l'aparició d'una àrea "danyada" al voltant del desgreixador. Segon, durant la cocció, el quars pateix un canvi al voltant de 573°C que s'acompanya d'un augment d'aproximadament el 2% del volum (Henderson 2000: 133). Aquest canvi és reversible, i durant el refredament es dona una contracció equivalent. Un cop cuita, l'argila és incapaç d'acompanyar aquesta contracció i les partícules de quars queden lleugerament separades de la matriu, creant una xarxa de microfractures en la zona prèviament danyada, que afavoreix el procés de propagació de fractures. Aquest fenomen s'il·lustra en la Figura 4. La fractura es propaga al llarg de la matriu fins que topa amb una inclusió, moment en que es produeix una dissipació d'energia, mitjançant un doble fenomen de deflexió i bifurcació de la fractura (Kilikoglou *et al.* 1995: 2963). Aquest procés continua fins que, bé s'arresta completament la fractura, bé aquesta provoca el trencament i la fallida definitiva de la ceràmica. En conseqüència, la dissipació d'energia, és a dir, la tenacitat d'una ceràmica s'incrementa en augmentar la concentració de desgreixador de quars, cosa que causa una reducció de la resistència a la fractura. A partir d'aquests experiments es conclou que una ceràmica feta a partir d'una pasta calcària i cuita a 950°C, assoliria un compromís ideal, pel que respecta a la resistència i a la tenacitat, amb un 20% en volum de desgreixador de quars.



**Figura 4.** Superior: Microfotografies d'inclusions de quars en la matriu argilosa. Inferior: Seqüència de la propagació d'una fractura (A partir de Kilikoglou *et al.* 1995).

Generalment el càlcul de les propietats mecàniques ha estat realitzat sobre rèpliques de ceràmiques, per dos motius principals. El primer és que s'evita el perill de calcular unes propietats que es puguin haver alterat per processos post-deposicionals. El segon està amb relació amb el tipus de procediment emprat en el càlcul de les propietats. La resistència a la fractura ha estat calculada, generalment, com a resistència a la ruptura transversal (TRS) o mòdul de ruptura (MOR) (Kilikoglou 1995, 1998; Tite *et*

*al.* 2001; *cf.* Beck 2002). En la majoria de casos, aquest càlcul s'ha realitzat a partir del test anomenat *three-point-bending* o del *four-point-bending*, sobre maonets experimentals que han de comptar amb unes geometries molt específiques (forma de paral·lelepípede d'aproximadament 60 x 10 x 10 mm). A més, es requereix de la preparació de varis maonets per mostra per tal d'aconseguir una bona estimació. Aquests condicionants fan que, en molts de casos, sigui difícil la seva aplicació en ceràmiques arqueològiques. Per aquesta raó s'han desenvolupat diversos procediments alternatius (Fournier 1990; Mabry *et al.* 1988), alguns dels quals dissenyats específicament per a ésser aplicats directament sobre fragments de ceràmiques arqueològiques (Beck 2002; Neupert 1994; Vekinis i Kilikoglou 1998).

El més rellevant per al nostre treball és el proposat per Vekinis i Kilikoglou (1998). Els autors proposen el càlcul dels paràmetres de resistència a la fractura Hertziana (*Hertzian strength*) i la resistència a l'abrassió (*wear resistance*), com una bona aproximació de la resistència a la fractura i la tenacitat, respectivament. El principal avantatge és que a partir d'un sol individu, d'una geometria més fàcil d'aconseguir a partir d'un fragment de ceràmica (forma de disc d'aproximadament 25-30 mm de diàmetre i 10 mm de gruix), es poden calcular ambdós paràmetres. Aquest procediment és aplicat per Vekinis i Kilikoglou (1998) per estimar la resistència a la fractura i la tenacitat de quatre àmfores púniques del segle V aC procedents de Corint i de probable provinença nord-africana. Pel que respecta a aquest procediment, aquestes són les úniques dades sobre materials arqueològics publicades fins a dia d'avui. Els resultats mostren diferències en la resistència de les àmfores que són consistents amb les diferències químiques, petrogràfiques i microestructurals constatades en un treball previ per Maniatis i col·laboradors (1984). Tanmateix, el nombre reduït de mostres no permet plantejar cap interpretació rellevant d'aquestes observacions.

Un aspecte que ha afectat al plantejament metodològic de la nostra tesi és la reflexió feta, entre d'altres, per Kilikoglou i col·laboradors (1998) i Tite i col·laboradors (2001) sobre les limitacions que poden tenir els estudis de les propietats mecàniques. Aquests autors adverteixen de la importància de no barrejar el que són les propietats mecàniques dels materials, calculades en el laboratori, del que és el comportament mecànic de l'envàs sencer. Aquesta observació no és gratuïta, i està àmpliament

assumida en els estudis d'enginyeria; tant els referents a ceràmiques avançades (Keum i Oh 2005) com a construccions estructurals més complexes (Martini 1998, 2005).

Les propietats mecàniques dels materials no es donen en abstracte, sinó que es concreten en una determinada forma; en el cas d'una ceràmica, la seva tipologia, o el que és el mateix, el seu disseny. Com ha quedat palès, el comportament mecànic d'una ceràmica està condicionat per les propietats del material amb què es va produir, per bé que no pot ésser correctament avaluat simplement amb el càlcul d'aquestes propietats. La geometria específica de la ceràmica (la seva mida i forma) juga un paper fonamental en aquesta avaluació. La importància d'avaluar les propietats físiques d'un material en funció d'un disseny específic ha portat recentment al desenvolupament d'un model quantitatiu, basat en l'Anàlisi d'Elements Finitos (AEF), per predir sota quines condicions es trencaria una ceràmica (Kilikoglou i Vekinis 2002). Així, l'AEF permet simular per ordinador el comportament d'una ceràmica durant la seva utilització, trobant les condicions que provocarien la seva fallida. Kilikoglou i Vekinis (2002) apliquen aquesta tècnica a envasos d'emmagatzematge d'època minoica procedents de Myrtos (Creta). Sobre aquest model es simula l'estrès que s'hauria generat durant diferents activitats d'ús. Els resultats mostren que, en cas de ser alçades amb les mans, les nanses d'aquests envasos s'haurien deformat més del que les propietats del material suportarien, produïnt-se el trencament de la ceràmica. Al contrari, la simulació d'un alçament mitjançant una corda passada per les nanses, al voltant de la perifèria de l'envàs, permet suggerir que aquest hauria estat una de les formes més segures de moure aquests envasos.

Un altre estudi interessant pel que respecta l'aplicació de l'AEF és el de Hein i Kilikoglou (2007a). En aquesta ocasió es creen models bidimensionals d'àmfores d'època hel·lenística procedents de l'illa de Cos. Els autors conclouen que el canvi en la tipologia d'aquestes àmfores suposa una clara millora en termes de rendiment econòmic, car s'incrementa progressivament la seva capacitat de transport, alhora que es mantenen constats les propietats mecàniques i la quantitat d'argila necessària per a la fabricació d'una àmfora.

En un treball recent, Senjanović i col·laboradors (2004) estudien el comportament mecànic de tres àmfores de diferent tipologia: 1) una àmfora etrusca de



base cònica del tipus Py 3B del segle VII-VI aC; 2) una àmfora del tipus Lamboglia 2 del segle I aC; i 3) una àmfora del tipus Dressel 20 del segle I-IV dC. L'objectiu d'aquest treball és el d'avaluar el comportament mecànic de la base d'aquestes àmfors simulant un estrès estàtic. Així, es crea un model tridimensional d'elements finits, assumint les mateixes propietats mecàniques per a les tres àmfors. A més, s'inclou una modificació hipotètica del primer tipus d'àmfora, en la qual la base cònica és reemplaçada per una base plana. Els autors interpreten que l'àmfora amb la base cònica hauria suportat millor una càrrega vertical, suggerint que aquesta seria la principal raó per la qual s'hauria produït aquest disseny. El pivot de les àmfors, com en el cas de la Laboglia 2, facilitaria les càrregues verticals, mentre que les formes més globulars, com seria el cas de la Dressel 20, serien més adients en casos d'una distribució horitzontal de la càrrega.

Una nova aplicació d'un model tridimensional d'elements finits en l'estudi de canvi tecnològic el representa el treball de Vila i col·laboradors (2008). En aquest treball se simulen condicions d'estrès estàtiques i dinàmiques que haurien actuat sobre les primeres produccions amforals romanes de la *Tarraconensis* (Dressel 1, *Tarraconense* 1 i Pascual 1). Els resultats mostren diferències significatives en el comportament mecànic d'aquestes àmfors i es plantegen hipòtesis sobre els factors que haurien pogut afectar la modificació del seu disseny.

Els mètodes d'elements finits han estat recentment aplicats a l'estudi de les propietats tèrmiques de gressols i de material ceràmic procedent de forns de producció metal·lúrgica (Hein i Kilikoglou 2007b, en premsa). En aquest darrer treball, es crea el model d'un forn que permet simular el desenvolupament i la transferència de temperatura durant el seu ús. Igualment es constata la importància de l'orientació de la porositat en la reducció de la conductivitat tèrmica de les ceràmiques.

Com ha quedat palès, la majoria d'estudis arqueomètrics sobre tecnologia ceràmica han centrat la seva atenció, especialment, en les propietats tèrmiques, mecàniques i elàstiques dels materials. La major part d'aquests estudis s'han realitzat sobre ceràmiques utilitàries. Les de cuina són les que més atenció han rebut, especialment des dels Estats Units, mentre que les àmfors i altres envasos d'emmagatzematege han estat estudiades fonamentalment per investigadors europeus

(Taula 1.2). Així mateix, també cal fer esment als estudis tecnològics realitzats sobre ceràmiques de fàbriques més fines, com per exemple les vaixelles de taula. En aquesta ocasió no hem entrat a revisar l'estat de la qüestió d'aquesta recerca ja que es tracta d'uns materials amb unes característiques i unes problemàtiques que s'allunyen considerablement del nostre cas d'estudi. Els estudis arqueomètrics d'aquestes ceràmiques s'han dirigit, a banda de la caracterització química com a base per a establir provinences, a la caracterització de la tecnologia emprada en els tractaments de superfície i en la tecnologia de cocció que n'està associada, generalment a partir d'estudis de MER, FRX i DRX. D'aquests treballs cal destacar els de Madrid i Buxeda (2008) i Picon (2002), pel que respecta a la vaixel·la de taula d'època romana *terra sigillata*, i els de Mason i Tite (1997a; 1997b) i Garcia (2007), pel que respecta a la ceràmica majòlica d'època Medieval i Moderna.

	Bronitsky i Hamer (1986)	Skibo <i>et al.</i> (1989a)	Neupert (1994)	Hoard <i>et al.</i> (1995)	Kilikoglou <i>et al.</i> (1995, 1998)	Vekinis i Kilikoglou (1998)	Kilikoglou i Vekinis (2002)	Vila <i>et al.</i> (2008)
<b>Propietats estudiades</b>	Rm, T	Rm, Ra, Rt, Et	Rm	Rm, Rt	Rm, T	Rm, Ra	D	D
<b>Individus analitzats</b>	† (cuina)	† (cuina, comuna)	† (comuna)	† (cuina)	† (àmfores)	‡ (àmfores)	♣ (emmagatzematge)	♣ (àmfores)
<b>Test</b>	III	I	II	III	III, IV	V, VI	AEF	AEF
<b>Tipus d'argila</b>	Poc calcària	Poc calcària	-	Poc calcària	Calcària	Calcària	Calcària	Calcària
<b>Desgreixador</b>	Quars, calcita, calcita calcinada	Quars, matèria orgànica	Quars, xamota	Quars, xamota, calcita	Quars	Quars, calcita	Quars, feldspats	Quars, feldspats, mica
<b>Concentració en volum (%)</b>	0, 40, 80	0, 20	-	35	0, 5, 10, 20, 40	20, 25	20	15-25
<b>Temperatura de cocció (°C)</b>	600, 800, 1000	550, 650, 750, 850	-	600	800, 950, 1100	850-1050	1000-1080	950-1000

**Taula 1.2.** Quadre resum d'alguns estudis citats en el text. **D:** Comportament mecànic en funció del disseny i de les propietats físiques; **Et:** Efectivitat tèrmica; **Ra:** Resistència a l'abració; **Rm:** Resistència mecànica; **Rt:** Resistència al xoc tèrmic; **T:** Tenacitat; **†:** rèpliques en maonets (ceràmica de referència); **‡:** ceràmiques arqueològiques; **♣:** models d'elements finits bidimensionals; **♣:** models d'elements finits tridimensionals; **I:** Falling-weight; **II:** Ball-on-three-ball; **III:** Three-point-bending; **IV:** Four-point-bending; **V:** Hertzian-point-bending; **VI:** Abrasion-wear-resistance; **AEF:** Anàlisi d'Elements Finites.

# CAPÍTOL 2

---

## ARQUEOMETRIA DEL CANVI TECNOLÒGIC

### 2.1 *Preliminar*

Com en moltes altres disciplines, la producció de coneixement des de l'Arqueologia és, en bona part, una tasca de modelització, en tant que s'articulen una sèrie de conceptes, principis i patrons bàsics que operen en el rerefons de processos aparentment complexos. Pel que respecte als estudis de canvi tecnològic, existeix una gran diversitat de models teòrics elaborats per a un millor coneixement de la producció i el consum de ceràmiques en l'Antiguitat<sup>12</sup>, per bé que, en el cas concret de les àmfores que, de manera més o menys general, conformen el nostre cas d'estudi, els models existents són bàsicament descriptius, en tant que indiquen la forma que el procés de canvi pren en el registre material, però que no proporcionen explicacions específiques sobre el per què del patró existent<sup>13</sup>.

L'objectiu en aquest capítol és exposar un model teòric que permeti considerar les causes subjacents al canvi en el disseny dels evasos amforals i que, per tant, permeti establir relacions de causa entre les observacions empíriques.

---

<sup>12</sup> Veure Capítol 1.

<sup>13</sup> Veure Capítol 3.

## 2.2 Proposta de model teòric

### 2.2.1 Justificació del model

Com hem exposat al llarg del Capítol 1, una de les fites més importants dels estudis desenvolupats des de les diverses branques de les ciències socials i humanes és el reconeixement de la cultura material i la tecnologia com una construcció social i històricament contingent. En aquest sentit, han estat d'especial importància les contribucions fetes des del cada cop més ferm camp d'estudi en ciència, tecnologia i societat (CTS)<sup>14</sup>. Malauradament, les consideracions generades des d'aquests estudis han tingut un impacte molt reduït —si és que n'han tingut algun explícitament— en la major part de la recerca arqueomètrica. Aquesta situació és especialment evident en el cas dels estudis ceràmics en què els models teòrics i conceptuals han centrat sistemàticament l'atenció al voltant dels *artefactes* i no de les *tecnologies*.

Tanmateix, es pot argumentar que aquest no és, ni de bon tros, un tret exclusiu dels estudis arqueològics, sinó que es tracta d'una condició profundament arrelada en bona part de la societat contemporània. La manera d'entendre la tecnologia i la cultura material, com es fa cada cop més evident en els estudis de Psicologia conductual i de Filosofia de la ciència i la tecnologia, reflecteix allò que Davison (2004:86) ha anomenat *l'opacitat conceptual de la tecnologia*. Aquesta representa una situació paradoxal en què la incapacitat per a aprehendre els continguts polítics i simbòlics existents en qualsevol manifestació tecnològica es juxtaposa —i alhora es nodreix— amb la proliferació *ad infinitum* d'artefactes en totes les activitats que els humans experimentem. En el cas concret dels estudis arqueològics i arqueomètrics, aquesta condició es tradueix en una dissociació esbiaixada del significat dels artefactes en l'escena social, de tal manera que es generen particions artificials sobre les causes explicatives dels canvis documentats en el registre.

Un clar exemple de tot això és la distinció —implícita o explícita— entre la

---

<sup>14</sup> Per a una primera aproximació a aquest moviment —també conegut amb les sigles angleses STS, *science and technology studies*— veure els treballs d'Acevedo i col·laboradors (2003), Schiffer (2001a), o Misa i col·laboradors (2003).

funcionalitat i el disseny d'un artefacte. Expressat de manera simple, en aquest esquema, la funcionalitat assumida per a un artefacte i la seva aparença externa queden relegades a dimensions diferents, donant com a resultat, en definitiva, una descontextualització històrica de la tecnologia. Com argumentarem al llarg d'aquest capítol, la nostra proposta es nodreix de la idea que la funcionalitat material i el simbolisme codificat en els artefactes formen part d'un mateix fenomen i que, portat a l'extrem, només poden ésser individualitzats com a *diferents moments* d'una pràctica social. Per tant, argumentarem com una arqueometria del canvi tecnològic pot representar, així, un capítol important per a una aproximació a l'arqueologia del simbolisme i, en conseqüència, a l'estudi de les relacions de poder.

El fet que l'interès de la recerca s'acostuma a centrar en l'*artefacte* i no en la *tecnologia* dona lloc, des de la nostra perspectiva, a una nova situació paradoxal, a la que ja ens hi hem referit en diverses ocasions i que denominem *visió teleològica de la tecnologia*. En aquest model, la *necessitat* i l'*eficiència*, les quals es reflecteixen en la cultura material, es desenvolupen de manera progressiva, conjunta i lineal al llarg de la història en funció d'una dicotomia estímulo-resposta; la modificació del disseny d'un artefacte resulta de l'intent premeditat d'acomplir una determinada funció. Com a conseqüència, aquest esquema reforça també la idea que l'estil o el disseny d'un artefacte és un epifenomen de la seva funcionalitat.

En aquest capítol es presenta una proposta teòrica i metodològica per a considerar el canvi tecnològic en envasos amforals. Concretament, mitjançant aquest marc d'estudi es preten entendre aquesta tecnologia en termes tècnics, però també simbòlics i, per tant, de representació de poder. El punt de referència del discurs se situarà en el procés de disseny, entès com el conjunt d'activitats executades en la fabricació i ús d'un artefacte. En tractar el disseny com un component bàsic de tot procés tecnològic es preten també fer front el biaix que, des de la nostra perspectiva, comporta la visió teleològica i l'artificial partició causal del canvi tecnològic. Així, es posarà un especial èmfasi en realitzar un escrutini crític i sistemàtic de les possibles implicacions que pòden derivar d'aquest marc d'estudi. La nostra proposta teòrica fa servir el recurs de la metàfora amb la intenció de posar de relleu la necessitat de considerar el caràcter multidimensional de la tecnologia. En aquest sentit, un aspecte

clau és l'enmarcació de les questions relatives al canvi en termes conductuals; o dit amb altres paraules, que l'objecte de teorització el representen les interaccions concretes dels individus amb el món material (LaMotta i Schiffer 2001: 20-22) en paral·lel a la seva motivació constant per a aconseguir un estat de coherència cognitiva (Aronson 1999). Per a entendre la importància d'aquest darrer fenomen en el marc del model proposat es presenta una breu introducció a la teoria de la dissonància cognitiva formulada originalment per Festinger (1957). A continuació es presenta el model teòric proposat per a l'estudi del canvi tecnològic en dissenys amforals, el qual hem anomenat *Arqueometria del canvi tecnològic* (ACT) i que parteix d'una reformulació d'algunes premisses bàsiques que deriven de la teoria de la dissonància cognitiva.

Un cop plantejats els conceptes globals i el marc ideal de funcionament, es posarà a prova la bondat d'aquest model com a eina heurística amb l'anàlisi de les àmfores romanes que representen el nostre cas d'estudi. La discussió tractarà, per tant, fins a on pot ésser aplicat aquest model en l'estudi de la tecnologia ceràmica per a una millor comprensió del procés de conquesta romana i, així mateix, s'argumentarà com una arqueometria del canvi tecnològic pot suposar una eina heurística rellevant en el debat existent al voltant del concepte de Romanització i de les seves implicacions (veure Hingley 2005).

### **2.2.2 La teoria de la dissonància cognitiva**

L'objectiu d'aquest apartat és el de presentar una visió general de la teoria de la dissonància cognitiva. Començarem per la definició dels principis i conceptes bàsics i presentarem un resum dels principals postulats d'aquesta teoria procedent de la Psicologia cognitiva i conductal.

La teoria de la dissonància cognitiva és una de les teories més rellevants i que més influència ha tingut en la història de la Psicologia cognitiva. Només cinc anys després de la seva formulació original per Festinger (1957), Brehm i Cohen (1962) revisaren ja més de cinquanta estudis implementats en el marc d'aquesta teoria. Cinquanta anys després, la teoria ha esdevingut el pal de paller d'infinitud de models explicatius en camps de recerca diversos en què els mecanismes de canvi en la conducta humana representen una factor clau en l'explicació dels fenòmens en estudi; des de

l'economia (Akerlof i Dickens 1982; Lévy-Garboua i Blondel 2002; Ricciardi i Simon 2000; Schlicht 1983), la comunicació (Perloff 2010), el màrqueting (Bawa i Kansal 2008; Deighton 1984; Smith 1993), l'educació (Snibbe i Markus 2005), la política (Cooper 2007; Oxoby 2004), o l'antropologia (Russell 2006; Tremlin 2006). Fins on tenim coneixement, malgrat la demostració del seu poder predictiu fins ara aquesta teoria no ha estat emprada en cap model generat de des l'Arqueologia.

La proposició central de la teoria de la dissonància cognitiva estableix que en el moment que una persona té diferents cognicions contradictòries (o inconsistentes una amb l'altra) experimenta una sensació psicològica negativa i desagradable (dissonància) i que, com a conseqüència d'això, es veu motivat a la seva reducció mitjançant diferents estratègies (Cooper 2007: 6-10).

Una de les principals aportacions de la teoria està en el concepte de cognició. Una cognició és definida com una unitat de coneixement; es pot tractar del coneixement que hom tengui del seu comportament, de la seva conducta, de la seva pròpia actitud o del coneixement que es té sobre l'estat de les coses. Una acció o una elecció determinada és qualcom diferent d'una actitud, que alhora és diferent d'una observació de la realitat. No obstant, totes elles representen cognicions, és a dir, representacions psicològiques que l'individu posseeix. Festinger (1957) estableix dues categories de cognicions: dues cognicions (A i B) poden ser irrellevants (una respecte de l'altra) o bé ser rellevants. En aquest darrer cas poden ser consonants, en cas que A segueixi a B, o dissonants, en cas que A segueixi a la cognició contrària a B. Per exemple, la cognició *fabrico un artefacte x per a acomplir una funció y* seria consonant amb la cognició *tinc coneixement que la funció y es pot acomplir amb l'ús de l'artefacte x*, mentre que seria dissonant amb la cognició *l'artefacte x mostra deficiències per a acomplir la funció y*. L'aparició de la dissonància genera en l'individu la necessitat de reduir-la; quant major és la magnitud de la dissonància major és la motivació per a reduir-la.

Les dades experimentals mostren que existeixen diverses estratègies que l'individu pot implementar per tal de minimitzar la dissonància. Així, quan el coneixement que té l'individu sobre el seu comportament i la seva actitud no està en

consonància<sup>15</sup>, la tendència és a modificar-ne un o els dos, triant generalment el camí més senzill, això és, el ofereix menys resistència. La recerca en aquest camp ha pogut constatar, en general, una major dificultat en distorsionar la realitat d'un comportament determinat, a diferència de les cognicions referents a les actituds que són molt més fluides i flexibles (Cooper 2007).

La discrepància entre cognicions es veu afectada no sols per la pròpia existència i magnitud de la dissonància, sinó també per altres factors contextuals. En l'exemple exposat sobre l'artefacte, l'individu en qüestió podria aduir bones raons per a no modificar el seu comportament. Es podria donar el cas que l'individu no donés credibilitat a les informacions referents a les deficiències de l'artefacte, o podria emfatitzar altres factors que permetessin una millor resposta per a acomplir la funció prevista, o es podrien emfatitzar els esforços efectuats en altres àrees de la producció. En tots aquests casos el resultat és la **creació de noves cognicions que són consonants** amb la primera. Així doncs, una primera proposició d'aquest model és que, en general, les cognicions que són consonants amb una de les cognicions discrepants permeten reduir el total de la magnitud de la dissonància. Expressat amb altres termes, de la mateixa manera que la magnitud de la discrepància entre dues cognicions augmenta l'estat de tensió produït per la dissonància cognitiva, l'augment de cognicions consonants redueix aquesta tensió.

Un segon tipus d'estratègia per a reduir la dissonància és **alterar el valor de les cognicions**. No totes les cognicions tenen el mateix pes en el procés d'aconseguir la consistència cognitiva. Atès que quant més important siguin les cognicions discrepants major serà la sensació de dissonància, quant major sigui el pes de les cognicions consonants, menor serà la dissonància experimentada. Seguint amb l'exemple anterior, l'individu en qüestió podria modificar la importància que projecta en la seva actitud vers la producció de l'artefacte. Podria decidir que aquestes actituds no són tan importants com altres majors implicacions, o es podria convèncer a sí mateix que la modificació de la seva conducta seria, al cap i a la fi, irrellevant (Aronson 1999;

---

<sup>15</sup> L'individu pot experimentar la percepció del fenomen de la dissonància cognitiva a nivell conscient, però en la major part dels casos es produeix a nivell subconscient. En tot cas, aquesta problemàtica no es considera rellevant per al model proposat. Per a una discussió sobre el tema veure (Crandall *et al.* 2006).



Blanton *et al.* 2001).

Les implicacions d'aquestes dues grans estratègies de reducció de la dissonància cognitiva són més complexes del que podria semblar aparentment. Un dels principals camps d'estudi en aquest sentit és el referent a l'exposició selectiva a la informació (Littlejohn i Foss 2005, O'Keefe 2002, Aronson 2005, 2007). Com hem esmentat la dissonància provoca un estat d'incomoditat psicològica i que, a conseqüència d'això, els individus tendeixen naturalment a evitar situacions que la puguin generar. Com a conseqüència d'aquestes proposicions, la teoria de la dissonància cognitiva prediu que les persones preferiran estar exposades a informacions que siguin consonants amb el seu sistema de creences i coneixements, mentre que refusaran l'exposició a informacions contràries, és a dir, dissonants, amb el sistema de cognicions existent en el propi individu.

Un altre postulat que deriva de la teoria de la dissonància cognitiva és el que s'anomena dissonància posterior a la decisió presa (Brehm 1956; Tavis i Aronson 2007). En aquest cas, l'atenció se centra en el procés de presa de decisions en què existeixen diferents alternatives disponibles. Concretament, en el moment posterior a la presa de decisions quan, assumint una voluntat inherent en l'individu de prendre al decisió (més) correcta, presumiblement apareixeria l'estat de tensió intern a causa de la incertesa en la presa de decisió. Els experiments realitzats (veure Cooper 2007, Tavis i Aronson 2007, i referències en els seus interiors) demostren que en aquest tipus de situacions la magnitud de la dissonància depèn de diversos factors com, per exemple, la importància del fenomen involucrat en la presa de decisió, el temps transcorregut en l'elecció entre diferents opcions igualment atractives, la irreversibilitat de la decisió, el nombre d'alternatives disponibles potencialment, el grau d'atracció vers l'opció triada així com vers les opcions refusades, i el grau de similitud entre les alternatives.

Com a conseqüència de les dues proposicions anteriors es dedueix que amb posterioritat a la presa d'una decisió amb alternatives refusades, existirà la tendència a ser més favorable vers les informacions que resultin en una valoració positiva de l'elecció escollida i negativa de les alternatives que el cas contrari (Littlejohn i Foss 2005). Aquest postulat ha rebut recentment suport empíric a partir de la monitoració dels processos neuronals d'individus per resonància magnètica (Westen *et al.* 2006).

Finalment, de la teoria de la dissonància cognitiva deriva el principi de justificació mínima (Cooper 2007: 37-39). Aquest principi prediu que en cas que un individu realitzi lliurement una acció que en principi és contrària a la seva actitud a canvi de compensacions relativament petites, davant la necessitat de resoldre la dissonància d'aquest fet, la tendència serà la d'alterar la seva actitud original. Per a entendre aquest fenomen cal distingir entre justificació externa i justificació interna. El primer concepte fa referència a les raons que pot aduir l'individu davant el seu comportament dissonant que no resideixen en el propi individu sinó en els factors de situació, mentre que la justificació interna fa referència a la reducció de la dissonància mitjançant la modificació d'un canvi en el mateix individu (com per exemple, la seva actitud o el seu comportament). Així, si un individu sosté una creença que és difícil de justificar mitjançant incentius externs, es generarà una justificació interna que resultarà en la creació d'actituds més consistentes amb la situació (Aronson 1999:162-225).

En els darrers anys el desenvolupament de la recerca en aquest camp s'ha centrat en analitzar el pes especial que aparentment tenen les cognicions que l'individu té sobre ell mateix tant en la creació com en la reducció del fenomen de la dissonància (Aronson 1992; Steele 1988; Stone i Cooper 2000).

A continuació s'exposa la nostra proposta de model teòric com a marc interpretatiu en l'estudi del canvi tecnològic en envasos amforals. El model, que hem anomenat *Arqueometria del canvi tecnològic* (ACT), es fonamenta en una reformulació de premises procedents de la teoria de la dissonància cognitiva i centra l'atenció en el procés de disseny, entès com el conjunt d'interaccions que operen en la producció i ús dels artefactes.

### 2.2.3 Descripció general del model (ACT)

La nostra proposta mostra, especialment, certes afinitats amb diversos models i conceptes formulats des de l'arqueologia de la conducta, i que ja han estat exposats en el Capítol 1. De fet, començarem el nostre discurs amb la modificació d'un dels conceptes més rellevants, el de **camp funcional** (Schiffer i Skibo 1987: 598).

En l'explicació del canvi tecnològic que té lloc a mitja i llarga escala, l'arqueologia conductual posa especial atenció en especificar l'articulació entre

tecnologia i societat mitjançant la definició del camp funcional en el qual es desenvolupa la tecnologia en estudi. Aquest camp es defineix com el conjunt de funcions discretes que pot mostrar un artefacte en un contexte determinat i que poden ésser de natura tècnica, social o ideològica (veure la definició original a Schiffer i Skibo 1987: 598). Més recentment, Kingery (2001:124-125), seguint la discussió encetada per Schiffer i Skibo (1987; 1997), suggereix que la simple idea de modificar un disseny comporta ja un canvi tecnològic i que, tant per a l'artesà de l'Antiguitat com per a l'enginyer contemporani, la causa d'aquest canvi rau principalment en l'existència d'algun tipus d'inadequació en un o més segments del camp funcional que s'espera d'un artefacte. Tanmateix, des del nostre plantejament entenem que no es pot donar per fet que les categories funcionals d'un artefacte s'articulen sempre de manera conscient durant el procés de disseny. Aquesta asseveració ha rebut suport empíric de multitud d'estudis procedents de la Psicologia conductual (Aronson 1999, Cooper 2007). Certament, la premisa sobre la qual es construeix el discurs explicatiu del canvi tecnològic, segons la qual el disseny dels artefactes resulta d'una conducta que pretén la solució d'inadequacions identificades en diferents contextos —tècnic, social, natural—, és vulnerable en tant que deixa de banda factors externs que han demostrat que poden afectar el canvi d'un disseny (Hughes 1983; Law 1991; Petrosky 2006; Pfaffemberger 2001; Schumman 2001; Dobres i Hofmann 1999). Conscient d'això, recentment Schiffer (en premsa) advoca per modificar el pes que tradicionalment havien tingut les categories funcionals en el procés de disseny en els models conductuals, i potencia l'estudi de les relacions dels factors de situació i les categories funcionals al llarg del procés de canvi tecnològic (veure també Schiffer 2002; 2003). En el nostre cas entenem que qualsevol intent per a modelar una imatge d'un procés de canvi tecnològic certament ha de conjuntar idealment, no sols els processos tècnics i els propis artefactes, sinó també els aspectes econòmics, socials, legals, científics i polítics de la tecnologia, però també, i molt especialment, **ha de prendre en consideració els mecanismes pels quals els actors involucrats en el fenomen en estudi cerquen assolir un estat de coherència cognitiva**. Aquest darrer punt es fonamenta en la premisa segons la qual en la conducta dels individus es projecta de manera universal una cerca de la consistència cognitiva i un refús de la inconsistència (Cooper 2007: 135-156; Machado *et al.* 2009).

D'altra banda, assumim que l'adopció generalitzada d'una innovació tècnica té lloc quan tots els elements del sistema han estat modificats i operen conjuntament de manera efectiva, és a dir, funcionen de manera harmoniosa i resisteixen la dissociació —la disminució de la seva adopció en front d'un adversari. Un exemple paradigmàtic de tot aquest procés el proporciona el canvi en la tecnologia d'enllumenat de gas pel sistema elèctric (Schiffer 2002; 2003). Al llarg de tot aquest procés es va conjuntar la recerca d'un sistema de subministrament elèctric a un preu competitiu a l'existent sistema de gas natural, aconseguint el suport polític necessari per fer front al sistema existent, reduint el cost del poder de transmissió, i desenvolupant un tipus de filament per a les bombetes que comptés amb la resistència suficient. L'adopció generalitzada d'aquest sistema, i dels nous artefactes que se'n derivaren, es podria representar com un conjunt de camps que operen de manera conjunta, on els aspectes tècnics operen de manera indissoluble amb els socials, econòmics i simbòlics. Aquest esquema pretén posar èmfasi en el fet que en un procés de canvi tecnològic **és important avaluar els aspectes tècnics en el contexte d'activitats específiques, però prenent en consideració que els artefactes, a més de les assumides funcionalitats tècniques, operen també en la projecció de creences sobre la distribució de prestigi, riquesa i poder coercitiu en una societat** (Pfaffenberger 1992)<sup>16</sup>. I és precisament en un contexte de domini colonial que aquest funcionament s'hauria de manifestar més clarament (Lawrence i Shepherd 2006).

Un altre exemple d'aquest funcionament es troba en l'explicació proposada per Law (1997) en el seu treball sobre el procés de canvi en el disseny dels vaixells portuguesos de finals de segle XIV. En aquest treball s'argumenta que el canvi que va permetre resistir la dissociació i, per tant, l'adopció generalitzada de les noves naus no va ésser només la millora tècnica dels vaixells, amb clar increment en la seva capacitat de càrrega i amb major estabilitat, sinó que d'igual importància varen ésser l'extensió en l'ús de la brúixola magnètica, cosa que permeté mantenir la ruta de navegació tot i en absència de cels clars; la simplificació de l'astrolabi que feia possible que, fins i tot, mariners poc qualificats podien establir la latitud en què es trobava la nau; així com una

---

<sup>16</sup> Per a una interessant discussió des de la perspectiva sociològica veure el recent treball de Bauman (2007).

millora en el coneixement dels vents i dels corrents atlàntics que permeteren un fluxe constant de navegació.

En definitiva, l'anàlisi dels factors tècnics d'una tecnologia ha de considerar que la coordinació del procés de producció i les expectatives de la seva distribució (i consum) són tan rellevants com els artefactes en sí mateixos. Expressat ras i curt, en l'avaluació d'un procés de canvi tecnològic, les estratègies i la logística són més importants que la mera equipació. És a dir, el pal de paller de l'avaluació no és la simple utilització dels artefactes, sinó és el concert entre aquests i la coordinació social (David i Kramer 2001).

En funció de tot el que s'ha exposat s'elabora **la nostra definició de tecnologia**. En aquest treball, entenem per tecnologia una pràctica social en el sentit que, no sols implica la producció i l'ús premeditat de materials i mètodes per manipular i controlar el món que envolta els éssers humans, sinó que també genera coneixement, estimula les interaccions que tenen lloc en qualsevol activitat i, per tant, dóna forma a les relacions socials, reafirmant i contestant les tradicions. Un corollari és que els artefactes no sols acompleixen una determinada funcionalitat tècnica o utilitària (en el sentit de Schiffer) sinó que també projecten una imatge comunicativa sobre la distribució de poder i prestigi en una societat (en el sentit de Pfaffenberger). Una segona conseqüència és la necessitat de posar de relleu el fet que, el marc de referència per a controlar el món que envolta les persones, no és la simple tecnologia representada en els artefactes sinó la tecnologia en concert amb la coordinació social i cognitiva dels individus. Entenem que els factors tècnics i, en sentit ampli, els processos de canvi tecnològic, no han de ser separats dels processos a través dels quals es generen, es mantenen i es suprimeixen les necessitats de consum, ja que és mitjançant les interaccions amb el món material quan les persones experimenten, generen i canvien els seus hàbits i necessitats. Per tot això el present model es fonamenta amb la idea que els processos cognitius que experimenten els individus són elements claus en la modelació i interpretació d'un procés de presa de decisions, com és el present cas d'estudi on hi ha diferents dissenys amforals que són produïts i consumits en un mateix marc crono-espacial i que, per tant, representen tant eleccions tècniques de producció com decisions concretes de consum.

Entre els diversos camps d'estudi existents sobre els processos cognitius, la

nostra proposta se centra en els mecanismes que governen la consistència cognitiva, concretament els exposats per la teoria de la dissonància cognitiva. En aquest cas consideram com les més adients les propostes formulades per Stone i Cooper (2000) segons els quals el fenomen de la dissonància es produeix a partir de l'avaluació que realitzaria el propi individu sobre el producte d'una determinada conducta. Així, la dissonància estaria condicionada per la pròpia valoració (consciento o inconscient) de la conducta de l'individu en relació a un determinat estàndard. En aquest sentit, consideram que els marcs de referència més rellevants en l'avaluació d'una conducta el representarien l'**estàndard normatiu** i l'**estàndard personal**. La primera categoria representaria totes aquelles valoracions o creences que tenen un valor equivalent o similar en la major part dels individus d'una determinada cultura, mentre que l'estàndard personal es refereix exclusivament als judicis de valor que emet l'individu considerant només els desitjos i valoracions pròpies, és a dir, la seva expectativa personal. Les normes, costums, tradicions i expectatives d'una cultura afectarien directament l'estàndard personal dels individus (que esperen d'ells mateixos), així com l'estàndard normatiu (que creuen que els altres esperen d'ells), per bé que ambdós marcs de referència no haurien de coincidir necessàriament en tots els casos. En funció d'això, la interpretació de les dades analítiques resultants de la caracterització de la tecnologia en estudi<sup>17</sup> s'ha d'enmarcar necessàriament en els **factors de situació específics**, això és, el conjunt de condicionants històrics rellevants a partir dels quals es desenvolupa un activitat. En el nostre cas d'estudi en concret, aquest punt és d'especial importància per a definir inicialment els marcs de referència interpretatius i aconseguir una imatge coherent d'un procés del que no tenim documentació textual específica.

Un cop efectuades totes aquestes cosideracions s'exposen **cinc proposicions** que es fonamenten en els mecanismes conductuals exposats i en la recerca de consistència cognitiva dels individus. Aquestes proposicions representen el marc interpretatiu bàsic en el qual es confrontaran les dades analítiques resultants de la caracterització arqueomètrica de les àmfores en estudi i que emfatitzen en el procés de presa de

---

<sup>17</sup> El conjunt de tècniques analítiques l'aplicació de les quals es considera rellevant per al nostre cas d'estudi es presentarà de manera detallada i argumentada en el Capítol 6.

decisions.

1. **Qualsevol tecnologia està modelada en funció d'uns compromisos**, que poden ésser de natura econòmica, ideològica, social, política, o tècnica. Ara bé, tan important com això és la idea que aquests compromisos no necessàriament han de respondre a una lògica racional i evident per si mateixa, per bé que, en qualsevol cas, han d'ésser internament consistents al sistema al que pertanyen els actors involucrats en la seva producció i ús. La resolució dels compromisos deriva de la presa d'eleccions dels individus.
2. **Les eleccions es prenen en funció de preferències.**
3. **Els individus tenen preferències sobre l'estat de les coses, però també sobre les seves pròpies valoracions o creences sobre l'estat de les coses.** La conducta dels individus sovint transcendeix els efectes del model conductual d'estímul-resposta en què quelcom associat amb un estímul positiu esdevé automàticament més desitjable. En funció d'això, s'ha d'entendre que les competències d'un artefacte són potencialment atribuïdes pels mateixos actors involucrats en la seva producció i ús.
4. **Els individus exerceixen un control sobre les pròpies valoracions o creences.** Els individus no sols poden realitzar una elecció a partir de la valoració d'un fenomen concret en funció de la informació disponible, sinó que també tenen tendència a manipular les valoracions pròpies mitjançant una estratègia de selecció d'informacions compatibles (o en consonància) amb el sistema de creences existent en l'individu.
5. **Un cop assumides les valoracions sobre elements externs, aquestes poden persistir al llarg del temps.** Aquesta proposició és una funció de les expectatives generades al voltant de la tecnologia de manera que quant majors siguin els esforços invertits major serà la tendència vers una valoració positiva i persistent.

Acceptant aquestes premisses sobre el canvi tecnològic, la participació d'una aproximació arqueomètrica és necessària en la mesura que possibilita el modelatge dels

compromisos que dissenyen una tecnologia, i només així, és possible avaluar com aquests compromisos varien al llarg del temps i l'espai, i en quina mesura representen els mecanismes i les estratègies conductuals exposades. És precisament la possibilitat de modelar els compromisos que configuren qualsevol tecnologia el que permet anar més enllà de qualsevol partició causal. L'aproximació arqueomètrica ha de permetre, a partir de la caracterització de les competències de la tecnologia i del modelatge posterior dels compromisos, aprofundir en els factors de situació concrets que haurien condicionat la seva producció i el seu consum. D'aquesta manera, els vessants ideològics o socials, per exemple, queden definits en la mateixa categoria que el vessant tècnic o utilitari, això és, com a components afaiçonadors d'una tecnologia. El fet que la variació en el disseny d'un artefacte pugui ésser interpretada com una clara millora tècnica és indescartable de la càrrega ideològica que això comporta (Pfaffenberger 1992a, 1992b, 2001). La clau no són tant les competències d'una tecnologia sinó el compromís que explica la seva configuració. Només mitjançant una arqueometria del canvi tecnològic és possible la dilucidació d'aquests factors.

Aquest model no pretèn ser una representació definitiva d'un fenomen complex que, a més, es presenta amb importants biaixos per a la seva comprensió; manquen estudis robustos sobre factors que són especialment rellevants per a poder establir models més satisfactoris i que afecten, entre altres qüestions, als processos de formació del registre arqueològic del que procedeixen els individus analitzats, així com també a la pròpia estratègia de mostreig implementada en aquest estudi. Per aquesta raó, la nostra proposta s'ha d'entendre com a una eina que faciliti la interpretació d'una traça arqueològica sobre la qual s'assumeix que la presa de decisions hauria tingut un pes rellevant en la seva formació i posterior projecció en el registre arqueològic.

La teoria de la dissonància cognitiva és, per descomptat, molt més complexe i subtil del que s'ha presentat en les línies precedents. No obstant, el que creiem que és important emfatitzar és el fet que aquest model pot representar una eina d'especial importància en la creació de models explicatius en Arqueologia. Així mateix, l'ús d'aquest model permet oferir una visió crítica de la manera en què es genera el coneixement des de la mateixa disciplina.



# CAPÍTOL 3

---

## CAS D'ESTUDI: ÀMFORES ROMANES AL VOLTANT DEL CANVI D'ERA

### 3.1 Preliminar

**E**l nostre cas d'estudi de cavi tecnològic són els envasos amforals produïts entre el segle I aC i finals del segle I dC a gran part del que serà, després de la reforma impulsada per August, la província romana d'*Hispania Tarraconensis*. La producció d'aquestes àmfores està lligada a una activitat econòmica sense precedents, si més no pel que respecta a la intensitat i a l'escala de la producció. Aquests envasos apareixen en el context d'un desenvolupament de les estructures econòmiques agràries en el nord-est de la península Ibèrica que tenen com a principal objectiu la creació d'excedent agrícola per a ésser exportat a altres indrets de l'imperi romà (Brun 2004; Laubenheimer 1985, 1990; Miró 1998; Revilla 1995, 2004; Techernia 1986; Tremoleda 2000).

Aquesta activitat ha estat interpretada arqueològicament per la recuperació en multitud de jaciments dels envasos amforals que haurien servit per al transport d'aquest excedent, producte que generalment s'identifica amb el vi. Aquest fenomen comercial, considerat per Miró (1988: 282) com el més important d'època romana, no pot ésser deslligat d'un procés històric d'unes conseqüències més profundes i dilatades en el temps com és l'imperialisme romà.

La literatura històrica i arqueològica és abundant pel que respecta a les profundes conseqüències que tingué la conquesta romana en tots els àmbits, ja siguin conseqüències polítiques, econòmiques, socials o culturals. Tanmateix, en aquest capítol ens volem referir breument als principals factors que varen permetre el desenvolupament d'aquesta activitat econòmica i sota quines circumstàncies es va produir.

### ***3.2 Factors de situació política***

El període del canvi d'Era és un període d'importants canvis que afecten diversos nivells, no sols en la província *Tarraconensis*, sinó a l'estructura romana en la seva totalitat. En qualsevol cas, però, per a entendre aquests canvis es fa necessari centrar l'atenció en el que succeí alguns segles abans. Abans de tot, cal fer esment de l'episodi polític i militar de primer ordre que té lloc a finals del segle III aC; la segona guerra Púnica (218-202 aC).

La victòria de l'exèrcit romà va comportar canvis significatius en tota l'estructura política i econòmica romana. D'una banda, engega un procés, que s'anirà desenvolupant al llarg de tot el segle II aC, que suposa l'annexió per part de Roma de les diferents entitats polítiques que configuraven la península Itàlica (Kaplan i Richer 1995; Matthews 2001; Nicolet 1982). La majoria d'annexions es realitzaren sota el discurs legitimador de *bellum iustum* (Rawson 2001) mentre, paral·lelament, el sistema d'aliances d'itàlics i llatins tendia a l'exclusiva hegemonia política de Roma. D'altra banda, el final de la guerra comporta un punt d'inflexió en la transformació de l'estructura social i econòmica de la societat romana tradicional de la primera meitat del segle II aC. Les bases del sistema econòmic tradicional es varen anar substituïnt per nous models més lligats a l'expansió mediterrània (Nicolet 1982). Un fet àmpliament acceptat per la historiografia és que la segona guerra Púnica fou, en bona part, un conflicte impulsat per aconseguir el control dels centres miners de la península Ibèrica, especialment de plom i plata (Kaplan i Richer 1995; Mackay 2004). Com bé recull Tremoleda (2000), la incapacitat per a seguir explotant eficientment els centres miners de l'actual àrea dels Balcans i de Grècia és un fet de gran importància a tenir present, el qual, junt a les notícies d'historiadors i geògrafs que promocionaven les riqueses de la

península Ibèrica, permet explicar en part el desplaçament cap a l'oest dels centres de gravetat econòmics i polítics de la Mediterrània.

En qualsevol cas, el que sembla acceptat és que la victòria romana genera unes necessitats que fan necessari l'impuls d'un nou model econòmic, que estimula la producció intensiva en front d'una economia estructuralment tradicional (Temin 2001). Tanmateix, seguint una tendència recurrent en els processos històrics, les noves condicions d'aquest desenvolupament econòmic no són seguides al mateix ritme per tots els actors socials. La incapacitat per a harmonitzar aquest desfasament d'adaptació va generar unes contradiccions que, unides a una crisi agrària prolongada, acceleraren la caiguda del règim republicà. Tot plegat es plasmarà en la crisi política que esclatarà en la guerra social (91-89 aC). Aquest fet s'acostuma a interpretar com un dels factors que podrien haver condicionat el moviment de població d'itàlics que, des de finals del segle II aC i començament del segle I aC, s'haurien dirigit cap a les províncies occidentals. Anem a examinar aquesta possibilitat. En el ja clàssic treball de Rostovtzeff (1972), el període de les guerres socials s'entén com un fenomen d'especial importància per entendre el canvi dels fluxos de població emigrant que abans es dirigia cap a les províncies orientals i que des d'inicis del segle I aC es dirigirà cap a les noves províncies occidentals, que ofereixen unes condicions molt més favorables. Altres factors que tradicionalment s'han acceptat com a condicionats d'aquest procés migratori són, d'una banda, la destrucció de Numància el 133 aC i el final de les guerres celtíberes que, aparentment, haurien posat fi a un important causa d'inestabilitat política que limitava l'arribada d'immigrants civils, i d'altra banda, la conquesta de la província Narbonesa i la fundació de *Narbo Martius* l'any 118 aC que permetria l'enllaç terrestre entre la península Itàlica i la península Ibèrica (Miró 1988: 248-252).

Un quart factor que podria haver estimulat el fluxe migratori d'itàlics cap a les províncies occidentals, i a *Hispania* en particular, està directament relacionat amb la producció i exportació d'excedent agrari des del nord-est de la península Ibèrica: és la crisi de l'estructura agrària a la península Itàlica (Kehoe 1997). Des de mitjan segle II aC les petites i mitjanes explotacions rurals comencen a desaparèixer. La seva capacitat per a resistir els períodes de males collites és reduïda degut a que es troben en competència directa amb grans capitals que ja han començat a desenvolupar sistemes

més intensius per fer front a les despeses de la guerra. Així, l'escassa capacitat operativa que tenen les petites i mitjanes explotacions deixa el camí expedit per a que siguin fagocitats pels grans propietaris. D'aquesta manera les terres es van concentrant progressivament en poques mans; és el moment que comencen a configurar-se els grans latifundis que culminen en època imperial.

L'impacte d'aquests nous models productius fou considerable ja que la societat romana, que s'havia fonamentat fins llavors en petites i mitjanes estructures agràries, quedava sense marge de maniobra davant d'unes grans explotacions rurals que, sostingudes per mà d'obra esclava, destinaven la seva producció al comerç. Amb aquesta situació de rerafons, només els grans propietaris gaudiren de les condicions necessàries per orientar les seves explotacions cap a la producció intensiva amb la introducció de mà d'obra servil. La nova dinàmica trencava la relació entre el petit camperol i el gran latifundista, en què el primer complementava la seva economia mitjançant el treball de jornaler a les grans propietats. D'aquesta situació se'n derivà la desaparició del petit i mitjà propietari itàlic i la conseqüent aparició d'un lumpen rústic i urbà (Polanyi 1994: 367-370). El desenvolupament dels centres urbans que concentraven els exedents creava beneficis en capital que s'invertien en infraestructures agràries per poder augmentar l'extensió i, especialment, l'especialització de les grans propietats. Això va comportar la depreciació dels productes provinents de les petites i mitjanes propietats, cosa que, junt a l'encariment dels productes de primera necessitat i dels serveis en una economia més complexa, l'expropiació de terres comunals, i la prestació de servei militar, hauria provocat que molts camperols esdevenissin mà d'obra urbana o rural disposats a seguir el camí com a colons (Buxó i Tremoleda 2002).

Els primers actors de la colonització agrària del nord-est de la península Ibèrica serien membres de contingents militars (Miró 1988: 248-258). En altres processos similars de conquesta que s'havien produït tant a les províncies orientals com a la mateixa península Itàlica, la situació més freqüent era que els soldats ocupants, un cop llicenciats, tornaven al seu origen amb alguna concessió de terra. En el cas de la península Ibèrica, en canvi, els soldats llicenciats es retiraven a les terres més fèrtils, establint una sèrie de contactes amb les elits indígenes (Crawford 2001; Garnsey i Saller 1991; Kehoe 1997; Mackay 2004; Olesti 1998; Pena 1998; Puerta 1998; Roldán 1991;

Temin 2001; Woolf 1992). Amb connivència amb aquestes elits, els ocupants romans finalitzaven la desestructuració social indígena, iniciada amb el conflicte bèl·lic, sinó abans, i es començava una nova estructuració dissenyada per a l'explotació humana i del territori. Com apunta Miró (1988), la riquesa minera del sud i de l'est peninsulars hurién d'haver suposat, de ben segur, un estímul suficientment suggeridor per a l'ambició d'aquests nous ocupants. Així ho sembla indicar el fet que les explotacions mineres més properes als assentaments militars foren el principal centre d'atracció dels contingents de romans i d'italics arribats a *Hispania*. Així mateix, aquesta atracció vers les explotacions mineres s'hauria vist afavorida a rel del canvi jurídic en els sistema d'explotació de mines. Durant els primers anys posteriors a la victòria romana, l'explotació minera era controlada i gestionada pel senat romà fins que, l'any 179 aC, passa a ésser gestionat per corporacions privades que esdevenien concessionàries de les explotacions, però no pas propietàries. De *iure*, el propietari de les explotacions mineres continuava essent l'estat romà per dret de conquesta, en funció del qual aquestes explotacions passaven a formar part de les *agri publici* sota titularitat romana.

Junt a aquest element militar, generalment es parla de la presència de població civil que es desplaça amb els exèrcits. Roldán, citat per Miró (1988: 250), en diferencia dos grups en funció de les activitats a què es dediquen. D'un costat parla de persones dedicades als negocis, ja siguin afavorides per un càrrec públic (*publicani*) o bé dins d'un marc exclusivament privat (*negotiatores*). Les activitats de les primeres inclourien la responsabilitat de l'avituallament de les tropes, el cobrament de tributs i de les rendes derivades de l'explotació de l'*ager publicus*. Les activitats en què participarien els *negotiatores* serien molt més diversificades, des de la compra-venda d'esclaus, materials ceràmics o terres, fins a l'arrendament de mines i altres activitats de caràcter financer. D'un altre costat agrupa els colons emigrats que desenvoluparien la seva activitat en l'àmbit de les explotacions agràries. El mateix Roldán (1991) veu precisament en la possibilitat de participar de les explotacions agràries, junt a la presència continuada de contingents militars, el principal element d'atracció de la immigració itàlica civil.

Hi ha altres autors, tanmateix, que han posat de manifest dubtes sobre l'existència real d'un desplaçament de grans efectius d'immigrants civils cap a la

península Ibèrica al llarg del segle II aC. Aquest serien els casos de Brunt (Brunt 1971), que suggeria que l'ocupació només hauria estat protagonitzada per un reduït nombre de comerciants i soldats llicenciats, i de Knapp (Knapp 1977), qui suggereix que les restes interpretades com a evidències de grans contingents itàlics poden ésser explicades més fàcilment com a conseqüència d'una ràpida romanització de l'element indígena a causa de la presència continuada de l'exèrcit romà. Més recentment, Olesti (1998; 2000) veu en el procés d'explotació agrícola del nord-est peninsular, concretament pel que fa a la producció vinícola, una participació limitada dels grups d'immigrants romans o itàlics en les primeres fases d'ocupació romana. En opinió d'aquest autor, serien les poblacions indígenes ibèriques fortament romanitzades les que portarien el pes de la producció vinícola fins a un moment avançat de la segona meitat del segle I aC. No seria fins a aquest moment que la participació d'itàlics i romans resultaria demostrable, però més com a inversors o comerciants que no pas directament relacionats amb el procés productiu. Segons Olesti, els canvis que s'observen en contextos arqueològics que daten de mitjan segle II aC i que mostren una reordenació territorial dels centres indígenes prerromans —com per exemple, l'abandonament d'algun *oppida* en paral·lel al creixement d'altres, i la constatació de fundacions romanes de nova planta amb una important presència indígena— no és més que la prova de l'adopció de tècniques constructives i productives romanes, sense que això s'acompanyi de canvis rellevants en la producció de les comunitats iberes, que continuarà essent essencialment a base de cereal. No serà fins a partir de la segona meitat del segle I aC quan es facin evidents uns canvis més profunds en l'ordenació territorial, amb la desaparició dels *oppida* i centres rurals com el de Burriac, Darró o Sant Julià de Ramis, paral·lelament al creixement abassegador de la vinya com a principal producció agrària. Els personatges itàlics i romans, afavorits per la conjuntura política iniciada per Cèsar, apareixerien involucrats especialment en activitats comercials, promocionant els productes a la seva xarxa de contactes interregionals.

Un dels factors que es produeix a rel de la conquesta romana, i que en bona mesura resulta rellevant en la nostra tesi, és la implantació i l'impuls de les ciutats romanes a l'actual costa catalana. Pel que respecta aquest fenomen és rellevant el que succeeix durant la segona meitat del segle I aC, període que està marcat pels programes

polítics impulsats per Cèsar i continuats pels seus successors.

Després de les victòries a *Ilerda* i *Munda*, s'inicia una política colonitzadora agressiva als territoris d'*Hispania*. De fet, com afirmen Buxó i Tremoleda (2002), en el territori peninsular no es pot parlar d'una política planificada de creació de colònies ni d'extensió de la ciutadania romana a les ciutats indígenes fins l'època de Cèsar, qui engega aquest procés inicialment a la *Ulterior*, i que s'estendrà amb el seu successor a la resta de la península.

La intenció de Cèsar en fer canviar els fluxos colonitzadors i situar-los cap a les províncies occidentals s'ha interpretat generalment com una estratègia política del general romà per, així, poder recompensar els seus veterans i ampliar el domini territorial on Pompeu ja tenia una xarxa considerable de clientele. El repartiment de terres comptava amb un problema bàsic a la península Itàlica, i era el dèficit d'*agri publici*. La situació a *Hispania* ofería un panorama completament diferent per als ocupants romans; en general, hi havia suficient quantitat de terres per a repartir entre els veterans, essent en la majoria de casos terres fèrtils i amb bones possibilitats de comunicació amb Roma. És més, la participació de les províncies occidentals en les guerres civils proporcionava el pretext per a confiscar les propietats dels vençuts sense haver d'intervenir la propietat dels ciutadans romans. Aquesta estratègia de conciliació també es va veure afavorida pel fet d'involucrar la *Ulterior* en les guerres civils, cosa que permetia una reorganització de la propietat de la terra, ja que gairebé totes les ciutats havien pres part en contra de Cèsar.

L'actuació política i militar de Cèsar dóna com a resultat la projecció d'un sistema d'ordenació jurídic-territorial similar al de la península itàlica anterior a la guerra social. Un sistema que serà l'estructura embrionària de l'administració imperial i que es caracteritzarà per una reorganització del territori a partir de nous cadastres sobre l'*ager publicus*, basada en una gradació d'estatuts jurídics; des de ciutats peregrines fins a la creació de colònies romanes de nova planta (Carreté *et al.* 1995; Roldán 1991). Mercés a la seva carrera en les províncies, Cèsar va poder comptar també, com ja havia fet Pompeu, amb el suport d'algunes comunitats indígenes. Sabem pel seu llegat històric (Cèsar, *B.C.* I, 48-52; II, 21. citat per Olesti (1998: 255)) que es va beneficiar de l'ajuda de diverses ciutats indígenes a les que atorgà diferents *honores*. Així, junt a la creació

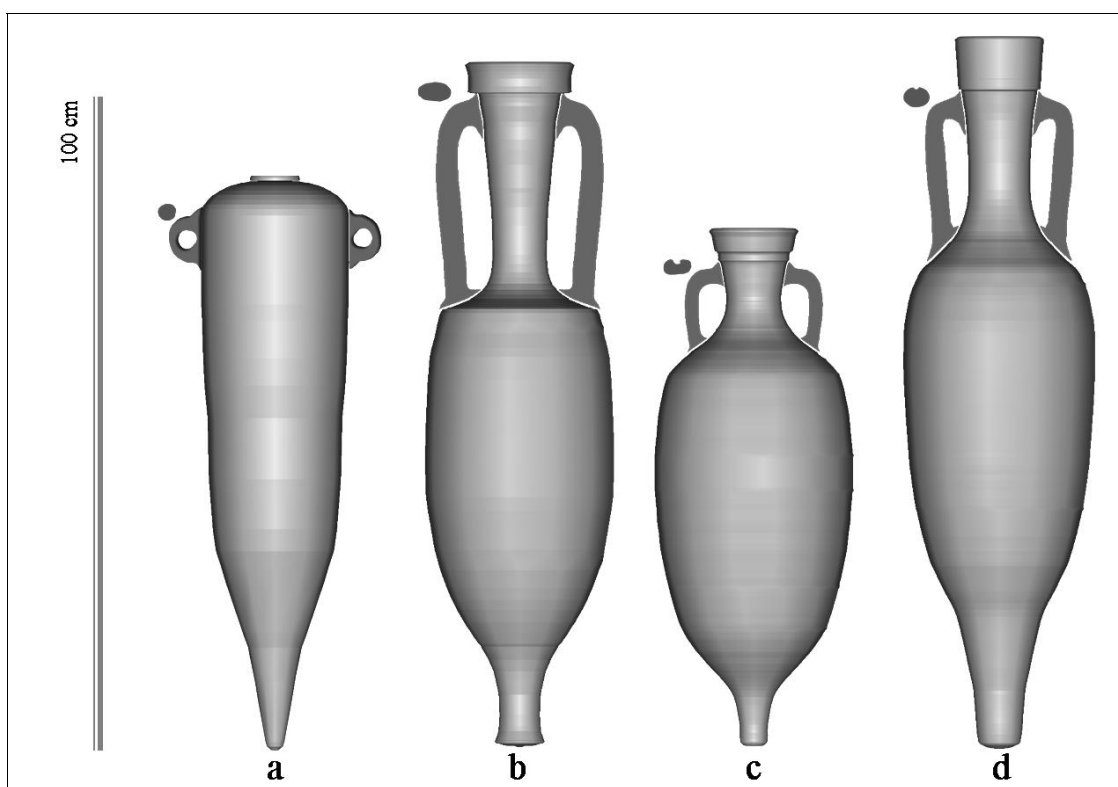
de colònies de caire militar i civil, l'estratègia política també es va dirigir a concedir tant la municipalitat romana com el dret llatí a algunes de les comunitats indígenes que li havien donat suport durant les guerres civils.

Com apunten diversos autors (Barti *et al.* 2004; Buxó i Tremoleda 2002; Tremoleda 2000), la fundació d'una ciutat d'ordenació regular de tipus itàlic, com va ésser el cas d'*Emporiae*, seguida immediatament per *Gerunda* i *Blanda*, marca un punt d'inflexió en la dinàmica d'explotació del territori. A partir d'aquests moments, a inicis del segle I aC, entrarien en escena nous paràmetres pel que fa a les estructures productives i a les relacions socials que d'elles se'n deriven. Aquesta desestructuració del territori culmina amb la desaparició dels *oppida* ibèrics. Aquests autors interpreten que les noves fundacions van lligades a la presència de colons d'àmbit itàlic que iniciaran l'explotació del territori, introduïnt noves tècniques d'explotació, nous sistemes d'emmagatzematge i noves solucions constructives. És en aquests moments quan es produeix el gran canvi en l'explotació agrícola del nord-est peninsular. Un canvi en què el conreu de la vinya esdevé el protagonista principal. L'evidència arqueològica d'aquesta activitat es manifesta en més de seixanta centres productors d'àmfores que es documenten al llarg de l'àrea litoral i prelitoral de la província *Tarraconensis*. A partir d'aquests moments, les importacions de vi itàlic que havien copsat els mercats fins la fi de la República comencen a perdre el seu predomini sobre les províncies occidentals (Tchernia 1986). En la segona meitat del segle I aC aquest procés es consolida amb la integració total d'aquest territori a l'estructura política romana: es crea el *municipium Emporiae*, la ciutat de *Gerunda* esdevé titular del *ius latii*, i desapareixen definitivament els establiments rurals d'origen indígena a mesura que es consoliden en el territori les *villae* documentades en aquesta regió (Revilla Calvo 1995, 2004). En definitiva, l'organització política, econòmica i social de les comunitats presents abans de l'entrada de l'exèrcit romà és progressivament substituïda per la dels nous ocupants romans sense una completa substitució poblacional aparent.

Amb aquesta transformació, a la província *Tarraconensis* es comença a produir vi per a la seva exportació. Per bé que la viticultura ja era una activitat practicada en molts d'aquests territoris abans de l'entrada de l'exèrcit romà (Tresserras 1998), és a partir de la conquesta que esdevé una activitat clarament destinada a l'exportació en



massa. És precisament en aquest marc de canvi de producció arran de la conquesta romana en què cal situar l'aparició dels dissenys amforals de tradició greco-llatina en el nord-est de la península Ibèrica, així com la desaparició dels dissenys amforals ibèrics precedents de tradició púnica (Figura 5). Els primers dissenys amforals romans que apareixen durant la primera meitat del segle I aC segueixen el model amforal itàlic conegut com a Dressel 1. Posteriorment, durant la segona meitat de segle comencen a aparèixer els models exclusius d'aquesta àrea: la Laietana 1/Tarraconense 1 i la Pascual 1, la qual assolirà una distribució espacial i temporal major que les anteriors.



**Figura 5.** Models representatius dels tipus amforals ibèrics (a) i dels primers dissenys romans: Dressel 1 (b), Laietana 1/Tarraconense 1 (c), i Pascual 1 (d).

Així, d'una banda es manifesta un canvi clar respecte dels dissenys amforals anteriors a la conquesta romana (Tsantini 2007), no sols en l'aspecte formal sinó també pel que respecta a les característiques tècniques dels envasos, probablement lligat al tipus de contingut que condicionà el seu disseny (Vila *et al.* 2006).

D'altra banda, són també clars els canvis que es van produir en la configuració dels propis dissenys romans, que afecten l'aspecte formal però que també, com veurem més endavant, poden representar diferents tradicions i eleccions tecnològiques dels ceramistes. La major part dels centres productors de vi relacionats amb tallers productors d'aquests envasos es documenten en la franja litoral que inclou l'àrea de l'actual Camp de Tarragona, els cursos inferiors del riu Llobregat, i les comarques del Barcelonès, el Maresme, la Selva i l'Empordà. Aquests assentaments també ocupen les principals conques fluvials, com les situades en el Vallès, entre els rius Llobregat i Besòs, o les del curs inferior dels rius Ebre i Ter (Miró 1988; Revilla 2004; Tremoleda 2000).

De manera similar al que ocorre en els tallers de la península itàlica, els dissenys amforals freqüents en contextos d'època baix-republicana i alto-imperial a la *Tarraconensis* són substituïts pel Dressel 2-4 durant la primera meitat del segle I dC. En les darreries d'aquest segle es produïx un nou canvi. Molts dels tallers que havien produït envasos amforals comencen a ésser abandonats. Les causes han estat molt discutides (Carreté *et al.* 1995; Garnsey i Saller 1991; Miró 1988; Revilla 2004; Tremoleda 2000), si bé no s'han plantejat explicacions satisfactòries de caràcter general. En qualsevol cas, el que és cert és que molts dels centres productors que havien mantingut una activitat molt dinàmica, especialment durant el segle I aC i els primers anys del segle I dC, deixen de produir i són definitivament abandonats. Aquest seria el cas, per exemple, del taller de Fenals a Lloret de Mar (Buxó i Tremoleda 2002). Altres tallers, en canvi, mantenen la seva activitat productiva durant tot el segle II dC i fins a un moment avançat del segle III dC, com seria el cas de Llafranc a Palafrugell (Barti *et al.* 2004), moment en què el centre de gravetat econòmic es traslladaria al nord d'Àfrica.

### 3.3 *Factors de situació econòmics*

Parlar d'estructura romana en aquest context és parlar de *dominació colonial*. És a dir, d'un sistema polític fonamentat en l'ús coercitiu de la força per treure profit dels subjectes que domina (veure Lawrence i Shepherd 2006, i referències en el seu interior). Aquest aspecte és rellevant en la mesura que afecta de forma activa les manifestacions tecnològiques d'una tradició cultural (Pfaffenberger 1992a). Quines tendències generals podem treure de la conducta dels contextos colonials? Primer, el grup dominant inverteix el rèdit que obté de l'explotació en les infraestructures necessàries per a mantenir i reproduir el benefici, i en conseqüència el poder, que és distribuït en grups que són privilegiats pel lloc que ocupen en la jerarquia imperial. Segon, en el cas que ens ocupa, el profit s'extreu a partir d'una economia de base essencialment agrària amb una participació activa de les anomenades elits indígenes (Crawford 2001; Garnsey i Saller 1991; Keay 2003; Kehoe 1997; Olesti 2000; Pena 1998; Puerta 1998; Rawson 2001; Roldán 1991; Temin 2001; Woolf 1992).

L'estructura política dominant és, per sobre de tot, una estructura tributària, on la major part de l'esforç, en aquest sentit, es dirigeix a assegurar que les zones sota control proporcionin suficient mà d'obra, diners i productes agrícoles. Així, les províncies romanes pagaven taxes; havien de subministrar el necessari per a cobrir les necessitats de l'exèrcit i de la ciutat de Roma. En aquest sentit, com apunta Woolf (1992), en els inicis de l'Imperi, Roma es mantenia més gràcies al suport de les elits que actuaven en connivència amb els ocupants que a l'estabilitat governamental o militar pròpia, especialment a *Hispania*. La cerca necessària de complicitats amb les elits indígenes per assegurar el poder resultà en la creació d'una xarxa de relacions convergents en el sistema cultural i simbòlic de l'imperi. Aquesta estratègia de domini es fa necessària ja que l'ús exclusiu de la força per dominar i aconseguir obediència té les seves pròpies limitacions. Aquestes limitacions s'accentuen en cas de no haver-hi la substitució immediata d'una població per una altra, com és el cas de la conquesta de la península Ibèrica on, a diferència de les illes, les possibilitats de desplaçament de població són majors. Com bé argumenta Pfaffenberger (1992b), aquesta estratègia es manifesta de

manera recurrent en els processos on el domini s'estableix sense la legitimació d'una ideologia que el sustenti. La força sols esdevé efectiva quan és legitimada per un discurs suficientment persuasiu que transformi la *força* en *autoritat*. En aquest sentit, les representacions simbòliques serien un dels discursos més persuasius que existeixen (veure Hingley 2005). Segons Pfaffenberger, és precisament en aquest punt on la tecnologia juga un paper fonamental en la reproducció de les relacions socials. La major part de les tecnologies no són dissenyades exclusivament per a acomplir una determinada funcionalitat tècnica. El conjunt de compromisos que configuren una tecnologia fan que també expressin i reforcin coercitivament les creences sobre la distribució del poder i del prestigi en una societat. El disseny de les ceràmiques respondria també a aquesta definició.

Aquesta estratègia de domini forma part, evidentment, dels factors de situació econòmics ja que es planteja amb una clara finalitat d'explotació econòmica. Però d'ella se'n deriva un altre aspecte que és tant o més interessant pel tema de canvi tecnològic que ens ocupa; els mecanismes de deculturació. El contacte entre dues, o més, cultures no és gratuït ni inofensiu. I ho és menys encara quan és fruit d'una conquesta militar. És per això que no deixa de sorprendre l'ús abusiu que es fa des de la literatura arqueològica del terme *aculturació* per fer esment de conductes que reflecteixen canvis culturals. Sovint, quan es documenten peces ceràmiques de dissenys que recorden altres tradicions es parla d'aculturació, quan apareixen solucions constructives pròpies d'altres contextos es parla d'aculturació; gran part del procés de canvi cultural s'entén com un fenomen d'aculturació. Seguint el *Diccionari de la llengua catalana de l'Institut d'Estudis Catalans* de 2007, llegim que el terme *aculturació* es defineix com un procés de canvi cultural, resultat del contacte entre cultures diferents, mentre que l'infinitiu *aculturar* és adaptar a una nova cultura. Adaptar-se?, a què?, per què?, i com? Des de la nostra perspectiva aquest terme dóna una visió esbiaixada dels processos de canvi cultural i substitució. Considera, de manera implícita, la substitució com un procés d'adaptació assèptic i aïllat, com si es tractés d'una construcció natural fora de la història, la política i l'economia. Certament no es pot negligir la possibilitat d'un procés d'adaptació, fins tot i dins d'un model polític i econòmic com el de l'imperi romà, però en qualsevol cas aquesta proposició requereix d'alguna teoria de fons que sustenti el per

què l'adaptació explica la conducta del canvi. Per tot això, entenem més adient fer servir el concepte de *desculturació*, definit pel mateix diccionari com el procés en què una ètnia, un grup culturalment diferenciat o un individu perden trets culturals propis. L'únic treball que coneixem en la literatura historiogràfica que hagi fet servir aquest concepte és el de l'historiador Moreno Friginals en el seu estudi sobre el canvi tecnològic que acompanya l'esclavisme a l'Amèrica colonial contemporània (Moreno Friginals 1983). Moreno entén per desculturació un procés inherent a qualsevol forma d'explotació colonial, en funció del qual es desarrela part de la cultura d'un grup humà per tal de facilitar bé l'explotació de les riqueses naturals del territori on s'assenta, bé per a la seva explotació directa com a mà d'obra. És, per tant, un recurs tecnològic de primer ordre aplicat a l'optimització del treball.

Com ja hem apuntat, el primer factor de situació amb implicacions econòmiques que caracteritza qualsevol estructura política dominant, com ara un imperi, és que el grup dominant inverteix el rèdit que n'obté de l'explotació en les infraestructures necessàries per a mantenir i reproduir el seu benefici. Però, sota quin model econòmic s'hauria produït l'activitat econòmica que ens ocupa? En aquest sentit, sembla interessant el treball recentment publicat per l'economista Peter Temin (2001) on examina el ja clàssic debat sobre la possible existència d'una economia de mercat en els primers moments de l'imperi romà, durant el Principat i el Baix Imperi. Temin argumenta que en aquestes primeres fases ja es donen les condicions necessàries per a poder parlar d'un model d'economia de mercat com a tendència majoritària en les transaccions econòmiques que, a més, és consistent amb el registre arqueològic i literari. Així la producció de vi s'inscriuria en un model econòmic on el mecanisme d'oferta i demanda generaria variacions i dinàmica en els preus dels productes i dels serveis (Andreau 1999, 2000; Kehoe 1997; Temin 2001). En aquests treballs es plantejen una sèrie de qüestions de rel econòmica, però que són del tot rellevants per al nostre cas d'estudi de canvi tecnològic, ja que afecten directament, no sols la producció sinó també, de manera interdependent, el consum dels productes.

Les dades del registre semblen ésser consistents amb un model d'economia on el sistema econòmic era el resultat d'un gran conglomerat de mercats interdependents (Remesal 1986; Temin 2001). Primer, les evidències de monedes palesen haver estat

emprades en les transaccions econòmiques de manera habitual, tant en contextos rurals com urbans, al llarg de tota la geografia de l'imperi en els primers segles abans i després de l'Era (Howego *et al.* 2006; Keay 2003; Ripollès 2002). Segon, en aquests moments molts dels béns i dels serveis estaven valorats en preus que eren pagats en numerari. Existeixen també abundants evidències de préstecs (Andreau 2000), especialment per al segle I dC, amb un rang d'interès situat generalment entre un quatre i un dotze per cent, molt similar a l'interès proporcionat per les fundacions agràries. Aquestes dades són, segons Temin (2001), difícilment interpretables en un model d'economia de base redistributiva o de reciprocitat. Al contrari sembla que són el reflex d'una activitat econòmica on la inversió en l'àmbit urbà, però especialment en el rural proporcionaria un bona possibilitat d'invertir el rèdit, obtingut per conquesta, i reproduir beneficis en el marc d'una economia de mercat. De quina manera? Un exemple il·lustratiu podria ésser el que coneixem de Cató el vell a partir de la crònica de Plutarc. La seva inversió ens interessa especialment ja que s'ocupava de proveir de suport financer a corporacions que noliejaven vaixells de càrrega a meitat del segle II aC. La concessió de la distribució de productes es realitzava a partir d'un sistema de subhastes i, per tant, se l'assegurava el millor postor. En el marc d'aquesta activitat, hi hauria el propietari d'un vaixell que requeriria de suport financer per a cobrir les despeses del viatge i, d'altra banda, hi hauria els inversors disposats a invertir el seu capital en aquesta tramesa. Per aconseguir aquesta inversió, el propietari del vaixell havia d'aconseguir formar una corporació de diverses persones, *societas*. La crònica de Plutarc parla d'una cinquantena de membre que haurien d'ésser responsables d'altres tants vaixells. El que es desprèn de tot això és que, en qualsevol cas, existia una mecanisme d'inversió en forma de préstec que involucrava diferents personatges. I no sols això sinó que, a més, sembla que es produïen maniobres per a reduir el ric econòmic d'aqueixes activitats mitjançant la diversificació d'inversions. Segons Plutarc, la pràctica habitual de Cató, així com la d'altres inversors, era invertir capital en nolis de diferents naus, en lloc de finançar tot el carregament d'un mateix vaixell. Aquests préstecs de capital s'acompanyaven d'un interès que havia d'ésser retornat, per bé que aquesta obligació desapareixia en cas de pèrdua de la nau, per naufragi o per altres causes. Així doncs, qui efectuava el préstec compartia el risc amb el propietari del vaixell i amb el propietari de la càrrega, que no

necessàriament havien de ser el mateix personatge (Temin 2001). Aquesta estratègia suggereix una clara maniobra per reduir probabilitats de risc i pèrdua, i augmentar les de benefici en un context en què, tant el *navicularius*, el *negotiator* com el propietari del producte voldrien treure'n profit.

Aquestes activitats, en qualsevol cas, no deurien d'haver estat cap excepció. Si ens centrem exclusivament en l'evidència de les àmfores, tenim una xarxa d'intercanvis (de mercat, o no) que enllaça diverses províncies i la pròpia capital, Roma (Keay 2003; Marimón 2004; Miró 1988; Nieto 2004; Nieto i Raurich 1998; Remesal 1986). En el període de canvi d'Era, s'estima que en la capital hi hagués una població d'aproximadament un milió d'habitants (Mackay 2004: 182), amb unes necessitats aproximades d'avituallament d'entre 20 i 40 *modii* de gra per any, que són 150-300000 tones, més unes quantitats similars d'oli i vi (Temin 2001: 176).

Com és sabut, el transport marítim oferia, malgrat tot, les millors condicions de transport de mercaderies en aquest període. La navegació per la Mediterrània esdevenia especialment problemàtica entre els mesos de novembre a març, període al que se li haurien d'afegir alguns mesos més de navegació amb possibles condicions severes (Pomey i Rieth 2005). És d'esperar, per tant, que hi hagués una gran activitat durant el període més adient per a la difusió dels productes per via marítima, més si s'assumeix la quantitat de personatges involucrats en aquestes activitats que esperarien obtenir algun tipus de benefici.

En definitiva, sembla que les dades del registre arqueològic i de les fonts literàries d'època baix-republicana i alto-imperial serien consistents amb l'existència d'un model econòmic en què, almenys pel que respecta a la producció i distribució de béns com seria el cas del vi, la participació de diversos personatges privats participarien d'un sistema d'intercanvis en mercats interdependents on el mecanisme d'oferta i demanda provocaria variacions en els preus, des dels preus dels productes fins a l'interès dels préstecs (Temin 2001).

Així mateix, la distribució de béns produïts i consumits a gran escala, com seria clarament el cas del vi de les províncies occidentals, seria una activitat concedida, a partir d'un sistema de subhastes, al millor licitador. Per tot això, sembla lògic, com ja han apuntat diversos autors (Andreau 2000; Kehoe 1997; Temin 2001), que la reducció

de costos addicionals en tot el procés productiu i de distribució seria quelcom desitjable, quan no imprescindible per participar de l'activitat i assolir beneficis.



# CAPÍTOL 4

---

## LES ÀMFORES ROMANES A LA TARRACONENSIS

### 4.1 *Preliminar*

**S**imultàniament a la progressiva identificació dels diferents tipus amforals de tradició greco-llatina produïts al llarg de l'actual costa catalana, els investigadors i investigadores han considerat aquests envasos, cada vegada més, com una valuosa font d'informació en els estudis d'economia antiga. Per al reconeixement dels diferents tipus d'àmfora i de la seva difusió, la recerca arqueològica<sup>18</sup>, fins a dia d'avui, es fonamenta bàsicament en dos principis metodològics. D'una banda, en la descripció formal dels dissenys, és a dir, dels tipus i de les seves variants, i la seva posterior identificació en centres productors, nuclis urbans i derelictes. D'altra banda, en la descripció, a partir de l'observació macroscòpica, d'alguns components de la fàbrica ceràmica. Aquest procediment ha resultat en la definició de diverses pastes que s'acostumen a explicar per les diferències geològiques on es documenten els tallers ceràmics. En qualsevol cas, aquesta darrera aproximació, la diferenciació de pastes, és secundària i està supeditada a la identificació

---

<sup>18</sup> En aquest capítol ens limitarem als estudis arqueològics que no han fet servir cap metodologia arqueomètrica i als que, tot i presentar algunes caracteritzacions arqueomètriques, aquestes no han tingut un impacte rellevant en la interpretació de la cultura material.

dels tipus. Tanmateix, la metodologia és només un dels pilars a sobre dels quals s'ha generat el coneixement arqueològic sobre el fenomen que ens ocupa. És important també centrar l'atenció en l'aspecte ontològic d'aquesta arqueologia, si més no en els seus aspectes més generals, per a poder aproximar-nos explícitament a una qüestió essencial en qualsevol reflexió crítica del coneixement: Per què sabem allò que *creiem saber* sobre el passat humà? (Lyman i O'Brien 2006: 1-26). Desenvoluparem breument aquesta asserció en el següent apartat.

#### **4.2 Precedents ontològics de la classificació tipològica**

Fins allà on tenim coneixement, totes les atribucions cronològiques referides al nostres cas d'estudi tenen una, o varies, categories d'artefactes com a *unitat de mesura*. És a dir, que s'han definit uns tipus, a partir del que es podria definir com a un mètode heurístic (Vila i Buxeda 2005: 12-13), i que són ordenats en seqüències a partir de la cronologia que s'atribueix a la seva deposició. Aquest procediment, la classificació —en aquest cas tipològica— dels artefactes, és una activitat subjacent a l'establiment de les cronologies relatives en arqueologia (Lyman i O'Brien 2006: 97-117) i té els seus fonaments ontològics i metodològics en la teoria i pràctica arqueològica de finals del segle XIX i primera meitat del XX, fonamentalment en els treballs realitzats, entre d'altres, per Kidder, Kroeber o Nelson, des dels Estats Units, i per Kossinna o Gordon Chile, des d'Europa (Lyman i O'Brien 2006; Lyman *et al.* 1997). En els treballs d'aquests autors, que podríem considerar com els fundadors del paradigma de l'historicisme cultural, del qual ja n'hem fet un petit esbós en la Capítol 1, hi ha una assumpció de base segons la qual la variació observada en el registre arqueològic —o al menys una part d'ella— responia a un fenomen de canvi cultural i, en conseqüència, era un reflex del pas del temps (Lyman *et al.* 1997). És per això, precisament, que un dels principals requeriments d'aquest paradigma fou l'establiment de sèries cronològiques dels artefactes recuperats en el registre arqueològic. A cada un d'aquests artefactes s'atribuïa un *llinatge* el qual era monitoritzat diacrònicament; es definien les variacions formals, així com les seves diferents freqüències relatives en el registre i, d'aquesta manera, esdevenien *unitats de mesura* en l'elaboració de seriacions tipològiques. A sota d'aquesta construcció conceptual hi havia l'assumpció subjacent que els artefactes —i

les entitats culturals que representen— reflectien afinitats filoculturals, és a dir, que les sèries establertes implicaven algun tipus de relació entre un fenomen anterior i un altre de posterior —sense especificar quant de posterior (o d'anterior). Precisament aquesta assumció representa una de les característiques que entronca el marc teòric de l'historicisme cultural amb els models evolucionistes més recents (Lyman i O'Brien 2006: 296; Shennan 2000: 811-812).

Així doncs, l'establiment de sèries a partir de les variacions formals dels artefactes té els seus fonaments en els principis teòrics i metodològics de l'historicisme cultural i que, alhora, tot i que de manera implícita, relaciona els conceptes de temps —cronologia—, canvi cultural —o específicament canvi tecnològic— i *unitats de mesura*. Un dels factors més rellevants per a la recerca del canvi tecnològic en el nostre cas d'estudi es relaciona, precisament, amb la concepció d'aquestes *unitats de mesura*. Més concretament amb el fet que l'ús d'una determinada *unitat de mesura*, un fòssil director determinat, i la datació que se li atribueix i que posteriorment s'infereix al conjunt amb el qual es relaciona en el registre arqueològic, depèn en gran part de la concepció analítica que l'investigador mostra —explícita o implícitament— sobre el temps. Una concepció és la d'entendre que qualsevol unitat de subdivisió del temps continu no és constatable empíricament i només s'entén com a real en un pla teòretic. Una perspectiva diferent assumeix que és possible subdividir el temps, a partir de la identificació de disjuncions naturals —o culturals— que confereixin un cert grau de realitat a les divisions realitzades (Lyman i O'Brien 2006: 146). Aquesta seria la concepció assumida en tota la literatura existent sobre el nostre cas d'estudi. Aquesta diferenciació és rellevant ja que en funció de com es conceben els processos de canvi tecnològic, i per extensió de canvi cultural, afecta a la manera en la qual és mesurat el pas del temps i, en conseqüència a les *unitats de mesura* emprades. Quina és la dinàmica assumida en un procés de canvi? El canvi es produeix més probablement al llarg d'una sèrie d'esglaons que defineixen algun tipus de trencament amb el moment anterior més immediat o, al contrari, el canvi es dona sense cap tipus de trencament al llarg de tot el continu? Diferents *unitats* fan que es mesuri el temps, i per tant el canvi cultural o tecnològic, de manera clarament diferenciada.

Aquests plantejaments no suposen, en qualsevol cas, cap novetat. Aquestes idees

són plantejades des de fa molt temps des de la ciència de la classificació per excel·lència; la Taxonomia, concretament la Taxonomia biològica. En el cas d'aquesta disciplina, l'objectiu central és el d'establir classificacions consistents amb la història evolutiva dels organismes. No entrarem a discutir els fonaments ontològics i epistemològics d'aquesta disciplina, ja que això depassaria clarament els marcs establerts per a aquesta tesi. Tanmateix sí que volem fer esment, encara que de manera molt breu, a dos aspectes. Un d'ells és rellevant en tant que afecta actualment a bona part de la disciplina arqueològica, especialment a un dels corrents teòrics més actius a dia d'avui pel que fa a l'Arqueologia anglòfona: el corrent evolucionista. No és d'estranyar que els investigadors que treballen des d'aquesta orientació teòrica siguin uns dels que més atenció han posat en els aspectes referents a la classificació dels artefactes, i de com aquesta pot afectar el seu ús en l'establiment de cronologies relatives (Eerkens i Bettinger 2001; Eerkens i Lipo 2005; Lyman 2003; Lyman i O'Brien 2006; O'Brien i Lyman 1999; O'Brien *et al.* 2001; O'Brien *et al.* 1994; Shennan 2000; Shennan i Wilkinson 2001). No de bades, com ja hem discutit en el Capítol 1, els fonaments teòrics d'aquest corrent provenen, en gran part, de la teoria de l'evolució proposada per Darwin. Aquesta és una raó per la qual aquests autors no han estat aliens a la sistemàtica taxonòmica i al debat suscitat dins d'aquesta disciplina en els darrers anys (Mallet i Willmott 2003; Vane-Wright 2003). Així mateix, en certa mesura, es podria considerar que el corrent evolucionista pren el relleu, clarament amb una bateria de conceptes i de mètodes propis, del corrent historicista —com han assenyalat alguns dels mateixos representats evolucionistes (Lyman i O'Brien 1998, 2006; Shennan 2000)—, en els fonaments teòrics del qual s'han de cercar les bases de les seriacions tipològiques, com ja hem esmentat més a dalt. Però, més enllà dels investigadors orientats teòricament en el corrent evolucionista, el que ens interessa és conèixer l'impacte que ha tingut en l'Arqueologia el debat i la reflexió generada en els darrers anys dins de la Taxonomia, una disciplina que, no oblidem-ho, té com a principal objectiu generar classificacions? Aquest és precisament el segon aspecte al qual volíem fer esment. Com en totes les disciplines, en la Taxonomia també s'hi poden trobar marcades diferències entre corrents i propostes metodològiques per a la classificació dels organismes. En aquest sentit no podem deixar de citar el ja clàssic treball d'Sneath

i Sokal (1973). Precisament, moltes de les divergències deriven de canvis tecnològics que, en aquest cas, afecten a la manera d'entendre el subjecte d'estudi i a la capacitat tècnica per a la seva anàlisi. I entenem que és precisament en aquest procés en què l'Arqueologia podria tenir un referent que podria afectar la manera de classificar els artefactes. Un punt d'inflexió en la sistemàtica taxonòmica, i sense cap mena de dubte un dels casos més citats en la literatura, és el canvi que representà el pas del sistema de classificació de Linneaus al sistema de classificació filogenètic (Bailey 1994). El primer es fonamentava en les similituds estructurals dels organismes, cosa que comportava sovint arguments circulars; la morfologia estructural dels organismes era el que determinava el grau de parentiu i, alhora, a partir de les relacions de parentiu s'interpretava la morfologia. El canvi s'inicia a partir del moment en què s'accepta la teoria de l'evolució darwinista com a model explicatiu de la diversitat biològica i de la formació de les espècies<sup>19</sup>. És a partir d'aquests moments quan es comença a acceptar que la classificació ha d'ésser fonamentada en termes filogenètics, és a dir, en funció del grau de parentiu, en termes evolutius, entre els organismes. A partir d'aquí, el canvi tecnològic que ha suposat el desenvolupament de mètodes que permeten identificar el codi genètic dels organismes ha canviat la pràctica de la Taxonomia completament (Herbert *et al.* 2003; Mallet i Willmott 2003; Vane-Wright 2003), precisament perquè comença a ésser possible establir classificacions que són clarament consistents amb la història evolutiva dels organismes, i que, a més, esdevenen rellevants més enllà de la pròpia disciplina (Vane-Wright 2003). Des de la nostra perspectiva, aquest procés, simplificat en extrem en les línies precedents, hauria de tenir una major influència en la pràctica arqueològica de classificació dels artefactes, donada la importància que té aquesta activitat. Les classificacions enteses en un sentit ampli, i no sols les d'artefactes arqueològics, acaben per ésser assumides com a quelcom natural; s'interioritzen i acaben per condicionar fortament la manera en què s'estructura el raonament (Bowker i Star 2000). Assumint aquesta darrera assertió, només cal preguntar-nos, si en el cas de la Taxonomia l'objectiu és establir classificacions *consistentes amb la història evolutiva dels organismes*, quin tipus de consistència volem per a les classificacions dels

---

<sup>19</sup> Per a una història comprensible de l'estudi de l'evolució i dels diferents models plantejats veure (Arsuaga 2001).

artefactes arqueològics? En qualsevol cas la resposta no és senzilla. Com succeïa en les classificacions dels organismes en funció de les semblances estructurals, la classificació tipològica d'artefactes arqueològics a partir del mètode heurístic pot donar lloc a raonaments circulars —a una petició de principi— si el discurs cerca una consistència referent a la provenença dels artefactes (Buxeda 2001) o a la tecnologia de producció (Vila *et al.* en preparació). En aquests casos, la classificació s'hauria d'aconseguir mitjançant una aproximació arqueomètrica. Un avantatge d'establir classificacions consistents amb la provenença dels artefactes, o bé amb la tecnologia de producció, és que la classificació quedaria justificada, a més, pel fet d'abordar directament les possibles interaccions entre la tecnologia en qüestió i les persones amb les quals hauria pogut interaccionar al llarg de la seva cadena de comportament —més enllà de la interacció que suposa el seu estudi arqueològic.

Per concloure aquest apartat, i com a justificació d'aquest capítol, entenem que és necessari saber d'on venim —la recerca precedent— no tant per a visurar cap a on anar, sinó especialment per saber quines són les expectatives raonables, és a dir, conèixer què en podem esperar de la recerca més immediata (Lyman i O'Brien 2006: 11-17). I no només això, sinó que és a partir del coneixement de la història d'una recerca que es poden fer explícites les creences arrelades sobre un objecte, una teoria o una metodologia d'estudi, que és la qüestió que donava pas a aquest apartat: Per què sabem allò que *creiem saber* sobre el passat humà?

### **4.3 Els dissenys amforals**

A dia d'avui, hi ha més d'una seixantena de centres productors de ceràmica documentats arqueològicament al llarg de l'actual franja litoral i prelitoral catalana. Malgrat la gran quantitat de jaciments coneguts, la major part de les dades arqueològiques provenen d'excavacions parcials, d'urgència o preventives. En molts casos, la identificació dels tallers no excavats s'ha intuït exclusivament a partir de la localització d'abocadors de material ceràmic. Amb aquesta situació, és evident que l'establiment de seqüències de producció dels diferents dissenys esdevé força problemàtica. Així doncs, Què en podem dir, a partir de l'estat actual de la qüestió?

Entre d'altres tipus ceràmics, aquests centres haurien fabricat Greco-itàliques,

Dressel 1, Laietana 1/Tarraconense 1, Pascual 1, Dressel 2-4, Dressel 7-11 i Oberaden 74. Com ja hem dit, el període d'activitat dels tallers varia en funció de cada centre, per bé que, de manera general, s'acostuma a situar l'inici d'aquestes produccions amforals en algun moment a principis del segle I aC. Tanmateix, en dates recents s'ha proposat que les primeres produccions es situarien ja en un moment anterior, possiblement entre el darrer quart del segle II aC i el primer quart del segle I aC (López i Martín 2006: 448). Aquestes primeres produccions són les que s'acostumen a interpretar com a imitacions del tipus Greco-itàlic i imitacions dels tipus itàlics Dressel 1A, 1B i 1C. Assumint aquestes cronologies, aquests tipus de tradició greco-llatina haurien circulat en un moment en què els tipus ibèrics encara s'estarien fabricant (Asensio i Otiña 2002). La substitució dels envasos de tradició púnica per les àmfores romanes se situaria de manera clara entre inicis i mitjan segle I aC, amb les primeres produccions locals dels tipus Dressel 1 i les seves variants (López i Martín 2006, en premsa). En un primer moment, la filiació dels individus d'àmfora Greco-itàlica i de Dressel 1A al centre de Ca l'Arnau, que serien de les produccions més antigues, va ésser suggerida pel fet que l'aparença de la fàbrica és similar a la d'altres àmfores Dressel 1 que s'haurien produït en aquest taller alguns decennis més tard (Martín 2004).

L'estudi arqueomètric realitzat recentment per Martínez i col·laboradors (2005: 395) corrobora l'existència d'aquesta producció local dels tipus Dressel 1A, mentre que l'individu del tipus Greco-itàlic, per bé que no forma part de cap dels grups químics definits, sembla mostrar una certa compatibilitat química amb la composició de les àmfores procedents d'aquesta zona.

Pel que respecta a les suposades imitacions de Greco-itàliques, s'han documentat alguns fragments en els centres de Fontscaldes (Carreté *et al.* 1995), Ca l'Arnau-Can Benet (Martín 2002), Ca l'Arnau-Can Mateu (García *et al.* 2000; Martín 2004), i El Vilar de Valls (Adserias i Ramón 2004). En tots aquests casos, els individus Greco-itàlics apareixen junt al tipus Dressel 1, també interpretats com a imitacions dels tipus homònims itàlics. Aquests darrers s'han documentat en els centres productors de Can Portell i Can Valençó amb la marca llatina Q.[*intus*] FABI[*us*]; Les Casetes (Codex 1992); El Vilarenc (Revilla 2002); Darró (López 1993); Ca l'Arnau-Can Mateu (García *et al.* 2000; Martín 2004); El Vilar de Valls (Adserias i Ramon 2004); el mas de Can

Vendrell, amb una marca llatina Q.T.E (Revilla 1995) i una altra amb caràcters íbers “ke” o “ko” (Olesti 1998); i a la *villa* de La Salut, amb una marca llatina M[*arcus*] COR[*nelius*] (Casas i Selvas 1987).

Així mateix, també s’han recuperat alguns fragments en els contextos ibèrics dels *oppida* de Montpalau i de Burriac (Comas *et al.* 1987; Miró 1988). En aquests dos treballs es diferencien, a partir de l’observació macroscòpica, dues tècniques de coccio d’aquestes àmfores. Així, Miró (1988) defineix una primera tècnica, situada cronològicament entre els anys 80-70 aC, i a la qual li atribueix una tradició ibèrica, que resultaria en unes fàbriques de color vermellós, ben cuites i depurades, sovint amb nucli de color gris. La segona tècnica es produiria, segons l’autor, entre els anys 65-60 aC, i donaria com a resultat una fàbrica similar a les Pascual 1 i Dressel 2-4 posteriors, amb l’aparença de la típica “pasta tarraconense” (Tchernia i Zevi 1972), per la qual cosa ja li atribueix una clara tradició romana. De la seva banda, Comas *et al.* (1987) proposen, també sobre l’observació macroscòpica, dues fases de producció de les Dressel 1 a partir de les diferències en les fàbriques. Així, durant la segona meitat del segle I aC es produiria la pasta que identifiquen com a típicament ibèrica, de parets fines i dures, mentre que a partir de l’any 50 aC, les Dressel 1 locals es caracteritzarien per unes fàbriques ja amb l’aparença de la “pasta tarraconense” (*cf.* García i Gurri 1997). Finalment, cal fer esment dels fragments de Dressel 1 recuperats a l’*ager* de *Tarraco*, a Fontscaldes, amb marques en caràcters llatins N.I.O (Carreté *et al.* 1995), i al taller de Tomoví (Martín i Prevosti 2003).

La difusió d’aquestes primeres produccions romanes sembla haver estat força limitada, com així ho suggereix la seva presència testimonial a la Gàl·lia (Comas 1998), i en els derelictes de Vilasar de Mar, Mataró (García i Gurri 1997; Matamoros 1991), Sant Andreu de Llavaneres (Andreu 1994) i de les Sorres del delta del Llobregat (Izquierdo 1987), així com la seva possible presència a les illes Balears, en els jaciments de Can Montanycs a Ciutat de Mallorca (Vila *et al.* en preparació) i en el poblat de Ses Païses a Artà (Quintana 2006).

Com ja hem dit, la substitució definitiva dels envasos ibèrics pels romans s’identifica de manera clara entre principis i mitjan segle I aC. En aquest procés de substitució entren en escena dos nous dissenys: la Laietana 1/Tarraconense 1 i, poc



després, la Pascual 1. El nom de Laietana 1 és el que proposa Comas (Comas 1983) per a anomenar el tipus d'àmfora que documenta a la ciutat de *Baetulo* i que és l'antecedent immediat de la Pascual 1, mentre que, posteriorment, Nolla (1987) proposa el nom de Tarraconense 1 per la mateix tipus amforal. Posteriorment, Tremoleda (2000), en la seva tesi doctoral, considera que és el segon terme el que ha de prevaler donat que:

*“[...] Pensamos que la posición más correcta sería aceptar la segunda propuesta, que escogía un término suficientemente amplio como el de Tarraconense 1, frente a otro de Laietana 1, demasiado restrictivo para denominar un producto que, como se ha demostrado, se producía también fuera de los límites geográficos de la Layetania”.* (Tremoleda 2000: 114).

Aquest i altres autors mantindran aquest mateix argument en treballs posteriors (Barti *et al.* 2004: 104; Buxó i Tremoleda 2002: 178; López i Martín: 2006: 450). Des de la nostra perspectiva aquest argument amaga una falsa disjuntiva, donat que els termes en discussió no són, de cap manera, ni exhaustius ni excloents. Igualment cal tenir present que la presència d'un determinat tipus en un centre productor pot no reflectir necessàriament una producció local (Vila *et al.* 2006), encara que l'índici estigui recolzat pel criteri d'abundància (Vila *et al.* 2005).

La nostra elecció pel que respecta la nomenclatura emprada per fer referència a aquest tipus amforal, com ja hem apuntat a l'inici d'aquest treball, en l'apartat d'aclariments, és el del terme Laietana 1/Tarraconense 1. Així mateix, prenent en consideració el fet que l'establiment de tipologies no segueix cap protocol que permeti establir de manera contrastable la variabilitat formal que pot ésser acceptada dins d'un tipus, ens referirem amb aquest mateix terme a totes les seves variants tipològiques.

En aquest sentit, és necessari fer esment al treball publicat recentment de López i Martín (2006). En aquest treball es planteja una classificació tipològica i es realitza un recull força exhaustiu de les cronologies en les que apareixen els tipus Greco-itàlics, Lamboglia 1 i Laietana 1/Tarraconense 1 en els centres productors i en els centres receptors més rellevants. Pel que respecte el tipus Laietana 1/Tarraconense 1, estableixen un total de set variants, en funció, fonamentalment, dels diferents dissenys de les vores i de la geometria del cos. Aquests autors proposen les nomenclatures de Tarraconense 1A, per fer referència al disseny més freqüent, i a partir del qual

s'identificà aquest tipus (Comas 1985; Nolla 1987); Tarraconense 1B, a partir dels tipus procedents del derelict de Sud Caveaux (Long 1998); Tarraconense 1C, a partir d'una de les variants procedents del derelict expoliat de Cala Bona I (Nieto i Raurix 1998); Tarraconense 1D, a partir dels individus procedents de Castellarnau (Artigues i Rigo 2002); Tarraconense 1E, que es correspondria a una altra de les variants procedents del derelict de Cala Bona I (Nieto i Raurix 1998); Tarraconense 2/Fenals 1, que es correspondria a la variant definida per Tremoleda (2000) sobre els fragments documentats en les excavacions del jaciment de Fenals de l'any 1984; i Tarraconense 3, fonamentalment a partir dels tipus documentats per Revilla (2002) en el jaciment d'El Vilarenc.

En opinió de Comas (1998: 226), el fet que es dissenyés un nou tipus d'àmfora respondria a la intenció d'individualitzar-la d'altres formes contemporànies, en un intent de crear una forma original de la regió de la Laietània, potser amb la intenció que fos reconeguda i es pogués, així, identificar fàcilment la procedència del seu contingut. El que és cert és que en alguns dels centres productors on s'identifiquen les suposades imitacions de les Dressel 1 itàliques sembla que també haurien començat a produir el nou disseny Laietana 1/Tarraconense 1. Aquest és el cas dels jaciments de El Vilarenc (Revilla Calvo 2002), la *villa* de La Salut (Casas 1987), Ca l'Arnau-Can Pau Ferrer (García *et al.* 2000, Martín 2004) o Can Portell (Codex 1992). D'altres centres, en canvi, incien la seva activitat productiva amb aquests tipus, tal és el cas de Les Casetes (Codex 1992), Horta Nova, el Sot del Camp (Revilla 1995), El Mujal (Codex 2002; Martín i Carreras en preparació), Fenals (Buxó i Tremoleda 2002), Sant Antoni de Calonge (Nolla *et al.* 2004) o, possiblement, Llafranc (Barti *et al.* 2004). En la majoria de casos, l'inici de la producció de Laietana 1/Tarraconense 1 es podria situar cronològicament entre la meitat i el darrer quart del segle I aC.

Altres jaciments a on s'han recuperat conjunts importants d'aquest tipus d'àmfora són, per exemple, el d'*Emporiae*, en el sector de la muralla Robert, el fòrum i la *domus* romana número 1 (Buxó i Tremoleda 2002). També s'han recuperat a *Baetulo*, com a material de reompliment d'una sitja en el C/ de Pujol, en el pati rectoral de Santa Maria i en una zona propera a la *domus* del C/ de Lladó (Comas 1985), així com a *Iluro*, en la zona de la Plaça de la Peixateria i al C/ de Barcelona n° 44 i 45 (García *et al.*

2000). Continuant amb els centres consumidors, és rellevant destacar la seva presència en la ciutats de *Pollentia* (Cerdà 1999), *Palma* (Riera i Orfila 2005; Vila *et al.* en preparació) i en el poblat talaiòtic de Ses Païses d'Artà (Quintana 2006). Tornant a la península, en el poblat ibèric del Castell de la Fosca a Palamós, deshabitat a partir d'època augustal, també s'en documentaren diversos fragments en les campanyes d'excavació dels anys 1944-1945, que foren posteriorment recollits per Nolla i Casas (Nolla i Casas 1984). Tal vegada, el conjunt de Laietana 1/Tarraconense 1 més excepcional, pel seu baix grau de fragmentació, sigui el procedent del derelictes d'illes Formigues, en la costa de Palamós. Del seu carregament se'n pugueren recuperar fins a trenta individus sencers, actualment dipositats en el Museu Marítim de Barcelona i l'Arqueològic de Girona (Nieto i Raurich 1998: 114-115). Així mateix, es coneixen també dues àmfores senceres procedents de la zona del Cap de Creus, així com diversos fragments de procedència subaquàtica entre les costes de Llanereres i Mataró. La seva difusió a la Gàl·lia es situa a partir de l'any 40 aC (Comas 1998), sobretot en la regió del sud-oest, en jaciments propers als rius Aude i Garonna. A dia d'avui, s'accepta que les àmfores Laietana 1/Tarraconense 1 arribarien fins a la costa de Narbona, a Malart i Port-la-Nautique, des d'on serien redistribuïdes seguint els dos cursos fluvials. Fruit d'aquesta activitat serien les troballes subaquàtiques en l'actual costa francesa. Alguns exemples serien el del derelictes de Drammont B (Corsi-Sciallano i Liou 1985), amb un carregament principal de Dressel 2-4 entre els quals es trobà un fragment de Laietana 1/Tarraconense 1, o el de Cap Béar III (Liou 1987) on es recuperaren varis individus Laietana 1/Tarraconense 1 junt a Pascual 1. En jaciments terrestres, Nolla i Solías (Nolla i Solías 1985) citen la seva possible presència en nivells augustals de *Lugdunum*, mentre que Miró (1988) les identifica a Vieille-Toulouse, Agen i Vienne/Saint-Romain-en-Gal.

El que és evident és que la difusió d'aquests envasos és clarament superior a la de les produccions locals anteriors de Dressel 1. Aquesta nova producció, com també succeeix amb la Pascual 1, s'acompanya d'un nombre cada cop major de marques llatines. S'ha interpretat que els personatges que apareixen representats en aquestes marques serien personatges amb un elevat poder econòmic i polític, i no simples colons. Aquests personatges podrien haver estat els responsables d'organitzar la producció i

d'estimular-ne la difusió dels productes mitjançant la seva xarxa de contactes interprovincials (Pena 1998; Pena i Barreda 1997; Tremoleda 2005). Tanmateix, també cal dir que sobre una d'aquestes àmfores procedent de *Salduie* també s'ha documentat una marca amb caràcters íbers E.I.KE.BI (Aguarod Otal 1992).

L'àmfora que acabarà per substituir definitivament a les Laietana 1/Tarraconense 1 és la Pascual 1. La producció d'aquest tipus sembla que també s'iniciaria entre mitjan i el darrer quart del segle I aC, i es mantindria fins a època de Tiberi, per bé que a *Baetulo* s'arriben a documentar en contextos arqueològics del període flaví (Comas 1985). El final de la producció d'aquest tipus respon també a una substitució, en aquest cas per la Dressel 2-4, per bé que sebla ésser en la majoria de casos un procés lent i progressiu (Tremoleda 2000).

La Pascual 1 fou la primera forma amforal definida com a producció pròpia de la *Tarraconensis* (Pascual 1962), si bé inicialment es va considerar com una variant tipològica de la Dressel 1B itàlica. En el seu treball de síntesi, Beltran (Beltrán 1970) les denomina Dressel 1-Pascual 1, mentre que posteriorment ja es manté la denominació Pascual 1, a partir de l'obra de síntesi sobre la producció amforal a l'àrea de l'antiga Laietània (Pascual 1977). En aquest treball s'agrupen els centres productors on es documenta aquest tipus en les àrees del Baix Llobregat (Sant Boi, Can Pedrerol i Can Tintorer), el Vallès (Caldes de Montbui, Can Cararach, Sant Miquel dels Martres, Can Vendrell, Can Cabot i Can Collet), Badalona i el Maresme (Torre Llauder, El Morrel, Sot del Camp i Calella). Aquesta àmfora es documenta en els tallers que havien començat la seva activitat amb la producció de Dressel 1 i Laietana 1/Tarraconense 1, com seria el cas de Ca l'Arnau-Can Pau Ferrer (García *et al.* 2000; Martín 2004), Can Portell (Codex 1992), Horta Nova (Revilla 1995), El Mujal (Codex 2002; Martín i Carreras en preparació) o el Collet de Sant Antoni de Calonge (Nolla *et al.* 2004). D'altra banda, també hi ha tallers que inicien la seva producció amforal amb aquest tipus, com és el cas, entre d'altres del tallers documentats a l'Avd. de Francesc Cambó de Barcelona, Alella-Autopista, Riera de Teià, Veinat de Sant Crist, Torre Llauder, El Morrell, Torre Marina, Can Peixau, Cal Ros de les Cabres, Can Viader o Mas Carbotí (Revilla 1995). Pel que fa a les troballes subaquàtiques cal esmentar els derelictes d'Ullastres I, Culip I i III, Canal de Fora i Portvendres IV i V (Nieto i Raurich 1998).

També en el derelicte Culip VIII es documentaren, entre un carregament principal de Haltern 70, tres individus del tipus Pascual 1, interpretats com a objectes de la tripulació (Vivar 2004).

Aquest nou disseny té clarament una major presència en els centres receptors gals, on s'ha identificat en més de vuitanta jaciments, però també a jaciments de l'actual Anglaterra, Itàlia, Alemanya (Comas 1998; Miró 1988), així com a les illes Balears (Marimón 2005). La important presència d'aquest tipus, especialment durant el període augustal, coexistent amb una producció menor de Dressel 7-11 i Oberaden 74, queda també palesa per l'extensió de la seva producció més enllà de l'actual costa catalana; en la zona central de la costa mediterrània de la península Ibèrica i en el sud de França (Brun 2004; Fontes *et al.* 1981; Laubenheimer 1990 ). A més, sobre aquest tipus amforal s'ha identificat una àmplia profusió de marques, sempre amb caràcters llatins, que hipotèticament també representarien a alts personatges i no a simples colons. És per tot això que tradicionalment s'ha considerat que la Pascual 1 representa la consolidació definitiva de la producció i la comercialització del vi de la *Tarraconensis*. Així, aquest disseny ha esdevingut una mena de símbol que representa la fi de les estructures productives agràries íberes i la consolidació de les romanes. Això és realment així? És evident que les àmfores ibèriques són completament substituïdes per les romanes i que, d'aquestes, possiblement la Pascual 1 sigui la que assoleix una major distribució espacial i temporal. Però això només és una part del que es desprèn del registre arqueològic. Es pot considerar realment la Pascual 1 com el tipus que marca la fi de la transició del món ibèric al món romà, al menys pel que respecta el vessant tecnològic? En els capítols subsequents tractarem de donar resposta a aquesta i a altres qüestions relacionades.

El tipus que substitueix la Pascual 1 és el Dressel 2-4. Pel que respecta el seu disseny, es considera que aquest deriva dels tipus produïts a l'illa de Cos al segle III aC. La seva data d'aparició en la península Itàlica se situa a mitjan segle I aC, moment en què substitueix progressivament les Dressel 1, per bé que també en un primer moment es produiran conjuntament. L'aparició d'aquest tipus a la *Tarraconensis* es podria situar entre el darrer decenni del segle I aC i el primer del segle I dC, coexistent, en un primer moment, amb la Pascual 1 a la majoria de tallers. Entre d'altres centres productors,

aquest tipus amforal ha estat documentat en els tallers de l'Aumedian, Mas del Catxorro, El Vilarenc, Cal Ros de les Cabres, Can Portell, El Mujal, Can Viader, Fenals i Llafranc. En general, la seva producció no sembla anar més enllà de finals del segle I dC, llevat d'alguns casos excepcionals (Miró 1988: 91). A partir d'aquests moments entrarien en escena nous envasos, possiblement els de base plana.

Tchernia (Tchernia 1971) és un dels primers en identificar aquesta àmfora com una producció pròpia de la *Tarraconensis*. Posteriorment, junt a Faust Zevi (Tchernia i Zevi 1972) realitza una síntesi sobre la presència de Dressel 2-4 de la *Tarraconensis* i de la zona de la Campània a Òstia. A partir de l'observació macroscòpica, descriuen l'aparença d'alguns components de la fàbrica d'aquestes àmfores i proposen el terme de “pasta tarraconense”, el qual, de llavors ençà, ha estat emprat de manera reiterada en la literatura arqueològica. Aquests autors descriuen la “pasta tarraconense” de la següent manera:

*“[...] la pâte est dure. Sa couleur est constante, d'un rouge très franc variant selon les exemplaires du clair au sombre et comportant rarement un noyau gris ou marron au centre, sans frontière nette. Les amphores n'ont en général pas d'engobe, et la couleur rouge de l'argile est bien visible à la surface. A la fracture on aperçoit, dans cette pâte rouge, un dégraissant formé de petits cailloux très visibles, dont le plus caractéristiques et les plus nombreux sont d'un blanc pur, les autres vitreux ou gris. Les impuretés noires, grandes ou petites, sont extrêmement rares. Les dimensions de ce dégraissant varient selon les exemplaires, elles sont toujours assez grandes pour que de très nombreux éléments apparaissent à l'oeil nu avec la plus grande netteté; en règle générale, les impuretés de 1 mm de côté ne sont pas rares, elles atteignent, voire dépassent 2 mm sur les fragments le plus caractéristiques. Les particules brillantes ne sont pas très nombreuses; leur éclat est jaune. Mieux qu'à la fracture, on les remarque sur la paroi de certains exemplaires, où les plus nettes, couleur d'or, atteignent et dépassent 1 mm de côté. Au total, l'argile présente à la fracture une surface rouge parsemée de points blancs; les particules dorées sur la paroi constituent un élément d'identification complémentaire.”* (Tchernia i Zevi 1972: 37).

La substitució de les Dressel 1 itàliques per les Dressel 2-4 itàliques és un dels

pocs casos en què s'ha abordat l'estudi del canvi en el disseny d'aquests àmfors des de la perspectiva d'un possible canvi tecnològic. Aquesta primera temptativa és la de Clementina Panella (Panella 1976) qui suggereix que aquest canvi suposa una veritable “revolució tipològica”, en el sentit que el nou disseny permetia millorar la relació entre el pes del contenidor i el pes del contingut. Panella estableix per als tipus itàlics una relació d'1:1 per a les Dressel 1 i d'1:3 per a les Dressel 2-4. Dit d'altra manera, mentre que en un carregament de Dressel 1, el 50% del pes es deuria a la ceràmica i l'altra 50% al contingut, en un de Dressel 2-4, el 25% del pes seria de la ceràmica i el 75% restant del contingut.

Pel que respecta a les Dressel 2-4 de la *Tarraconensis*, s'ha proposat que la seva difusió s'inicia al voltant del canvi d'Era, moment en què coincidiria amb una nova dinàmica del mercat del vi. Així, el vi envasat en aquestes àmfors es dirigiria fonamentalment, no tant a la Gàl·lia, com havia succeït en el moment de les Pascual 1, sinó a la península Itàlica. Aquesta distribució es mantindrà al llarg de tot el segle I dC (Comas 1998). Aquest tipus amforal també ha estat documentat en, com a mínim, deu tallers de la Gàl·lia, la majoria localitzats en una àrea propera a *Narbo* (Laubenheimer 1990). En aquesta zona també hi destaca la seva presència en els vaixells que es varen enfonsar quan suposadament seguien la seva ruta cap a Roma. L'any 1985 es va publicar un recull dels vaixells que es varen enfonsar portant àmfors de la *Tarraconensis* com a càrrega principal (Corsi-Sciallano i Liou 1985). D'aquests, n'apareixen catorze que transportaven exclusivament Dressel 2-4, i tres més on hi figuren entre el seu carregament, juntament amb *dolia*.

Entre els tipus documentats en contextos del canvi d'Era a la *Tarraconensis* caldria fer una breu referència, per finalitzar, a la Dressel 7-11 i a la Oberaden 74. Pel que respecta a la morfologia del primer tipus, generalment s'accepta que deriva dels dissenys amforals d'origen bètic que suposadament s'haurien fet servir per al transport de salaons. La manca de programes analítics que contemplin l'anàlisi de residus per identificar el contingut d'aquests envasos fa que aquesta problemàtica continui sense una clara dilucidació. No obstant, en dates recents s'ha proposat que el vi podria ésser el contingut d'aquest tipus d'àmfora, al menys pel que respecta a les de provenença bètica i, possiblement, també tarraconense (Silvino *et al.* 2005).

La seva presència a la *Tarraconensis* se situa especialment en centres receptors, com els de Punta de l'Arenal, Sot del Camp, *Iluro* o *Emporiae*. Igualment aquest tipus ha estat identificat entre els materials dels centres productors de Mas del Catxorro, Baix de Coll, Mas de l'Antoni Corts, La Boada de Reus, El Vilarenc, Barri Antic de Sant Boi del Llobregat, Cal Menut, l'Aumedina, Darró, Llafranc o Sant Antoni de Calonge. Fora dels territoris de la *Tarraconensis* destaquen els fragments documentats en el golf de Fos, alguns dels quals presenten la marca C. MVSSIDI NEP., la qual també s'identifica en un individu Pascual 1 i un altre Oberaden 74 procedents del Mas del Catxorro de Benifallet, i també la marca TIBISSI, documentada sobre alguns individus Pascual 1 i Dressel 2-4 de l'Aumedina (Tremoleda 2000: 125).

Finalment, el tipus Oberaden 74 mereix una menció a part. Si bé la resta de tipus amforals presenten majors o menors diferències morfològiques, aquest disseny és clarament quelcom diferent. La principal diferència rau en la base de l'àmfora; mentre que tota la resta són envasos amb pivot, dissenyats, com veurem més endavant, per a ésser transportats en vaixell i facilitar l'estiba en files o capes, el disseny de la Oberaden 74 es caracteritza per un fons pla i umbilicat internament. A partir d'aquesta costatació, una de les primeres qüestions que es planteja és si s'haurien dissenyat amb l'expectativa de ésser transportades de manera similar a la resta d'envasos amb pivot. O, si el seu contingut podria ésser el mateix que el de la resta, assumint que per a totes elles hagués estat el vi. Sobre la primera qüestió en tornarem més endavant. Pel que respecta al seu contingut, la manca d'anàlisis de residus deixa, també en aquest cas, la problemàtica sense una resposta clara, i oberta a diverses elucubracions (Izquierdo 1993; op. cit. López i Martín en premsa; Zevi 1966).

Inicialment, aquestes àmfores de base plana s'identificaven com a variants dels tipus Dressel 28 bètiques o Dressel 30 nord-africanes. Posteriorment, les primeres es van associar a les Oberaden 74 i les segones al tipus Pelichet 47. No serà fins el treball de Tchernia i Villa (1977) que es proposarà una possible provinença tarraconense per a aquests envasos, identificats ja clarament com a Oberaden 74, a partir d'establir paral·lels tipològics i d'algunes de les marques documentades sobre aquest tipus.

La producció d'aquest disseny a la *Tarraconensis* s'infereix per la seva presència fonamentalment en els tallers de l'Aumedina, Mas del Catxorro (Revilla 1995), Tomoví

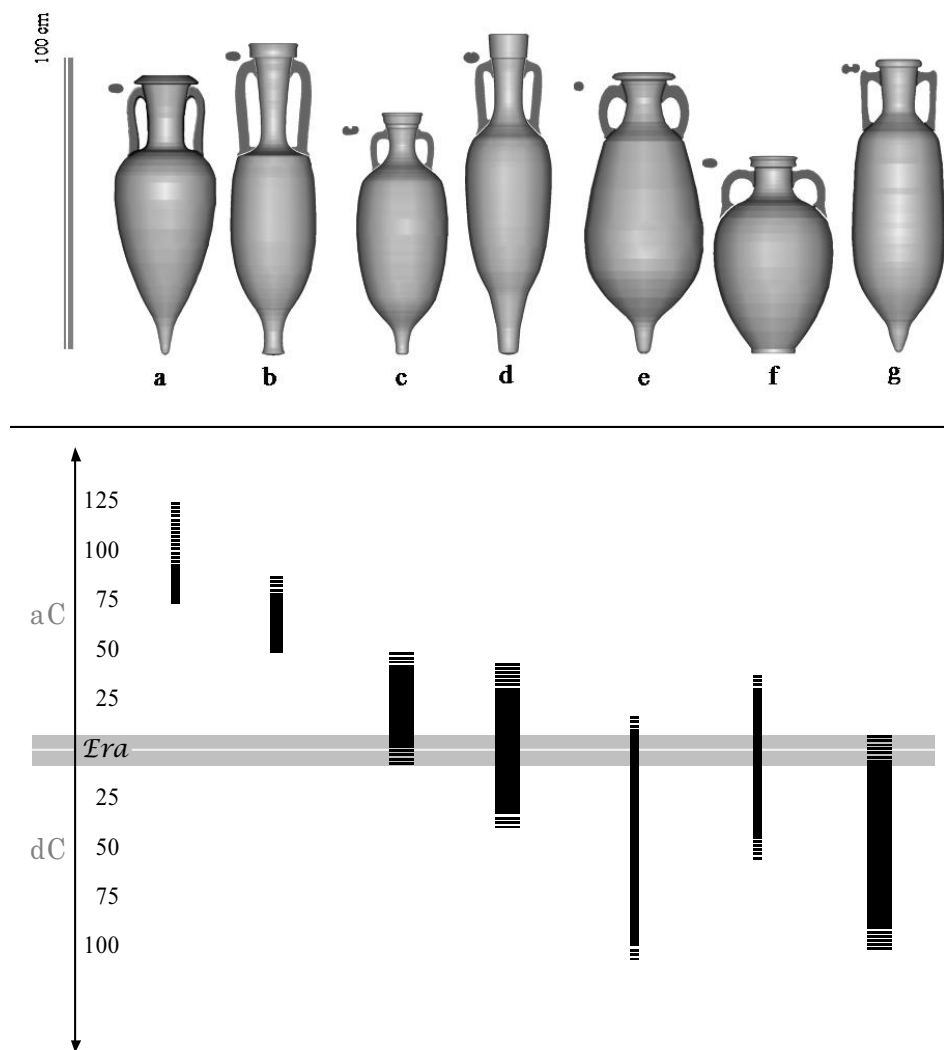


(Martín i Prevosti 2003), El Vilarenc (Revilla 2002, 2004), Sant Vicenç de Montalt (Pascual 1977: 90), Collet de Sant Antoni de Calonge (Nolla *et al.* 2004) i, possiblement, a Llafranc (Barti *et al.* 2004: 106-107). En el cas dels individus recuperats en el jaciment del Collet de Sant Antoni de Calonge, les anàlisis arqueomètriques realitzades per Vila i col·laboradors (2006: 701) mostren com aquests individus foren manufacturats amb una pasta argilosa d'una composició molt similar a la de la majoria de Pascual 1 analitzades d'aquest centre productor.

En quan a la cronologia d'aquest tipus a la *Tarraconensis*, López i Martín (en premsa) suggereixen un inici de la seva producció al voltant de l'any 30 aC, i que es mantindria fins a mitjan segle I dC. El paral·lel al que se li ha atribuït una datació més antiga és el procedent del derelict de Sud-Caveaux 1 i que s'hauria enfonsat al voltants de l'any 30 aC a la badia de *Massalia* (Long 1998: 343). D'una data similar serien les possibles produccions de Llafranc (Barti *et al.* 2004: 106-107) i El Vilarenc (Revilla 2002, 2004). En qualsevol cas, és important precisar que, pel que respecta a les cronologies finals d'aquest tipus, les dates proposades s'assenten sobre paral·lels tipològics amb individus procedents de centres receptors de fora de la *Tarraconensis*, per la qual cosa caldria valorar la possibilitat de que no es corresponguessin a materials veritablement de provinença tarraconense.

Les dades exposades en aquest apartat apareixen esquematitzades en la Figura 6 i poden ésser resumides de la següent manera: les primeres produccions amforals en el que en era la província *Citerior* (denominada formalment *Hispania Citerior Tarraconensis* a partir del 27 aC) correspondrien als tipus Greco-itàlics i Dressel 1. Per a aquestes primeres produccions s'han proposat unes cronologies entre el 125 i el 75 aC. Si bé el tipus Greco-itàlic només ha estat documentat, fins a dia d'avui, de manera molt puntual, les Dressel 1 es troben a més de mitja dotzena de centres productors, essent el període de major presència entre els anys 75 i el 50 aC, coexistent ja amb les primeres produccions de Laietana 1/Tarraconese 1 i, possiblement, de Pascual 1. Aquests dos darrers tipus són els més documentats en els contextos datats d'entre mitjan segle I aC i el primer terç del segle I dC. El tipus Laietana 1/Tarraconese 1 sembla que es deixaria de produir entre finals del segle I aC i inicis del segle I dC, mentre que per a la Pascual 1, que representa clarament el tipus més freqüent durant el període augustal, es

proposen unes cronologies finals al voltant del primer terç de segle I dC. Junt a aquests dissenys, es constata també una producció aparentment minoritària dels tipus Dressel 7-11 i Oberaden 74. Els dissenys del període augustal seran substituïts progressivament per la Dressel 2-4, la producció de la qual es manté fins a finals de segle I dC.



**Figura 6.** Cronologia dels tipus amforals romans documentats a la *Tarraconensis*. **a:** Greco-itàlica; **b:** Dressel 1; **c:** Laietana 1/Tarraconense 1; **d:** Pascual 1; **e:** Dressel 7-11; **f:** Oberaden 74; **g:** Dressel 2-4. El gruix de les línies verticals indica major o menor presència en els contextos arqueològics.

#### 4.4 *Treballs de síntesi*

L'interès en l'estudi de les àmfores romanes s'ha vist incrementat substancialment en els darrers trenta anys. L'aparent estandardització formal dels envasos va ésser el primer en cridar l'atenció dels investigadors, cosa que es traduí en la creació de vàries sèries tipològiques. En aquest sentit, cal fer menció als dos primers congressos sobre l'estat de la qüestió de les àmfores d'època romana —*Recherches sur les amphores romaines* (1972) i *Méthodes classiques et méthodes formelles dans l'étude des amphores* (1977) — on s'incidí especialment en els aspectes formals d'aquestes ceràmiques (Pascual i Guasch 1977). Tanmateix, les àmfores romanes prenen cada vegada més protagonisme com a indicadors econòmics de l'Antiguitat. L'any 1989 es publicaven les actes del congrés de Siena —*Amphores romaines et histoire économique. Dix ans de recherche*— que es pot considerar com un punt de referència per als estudis que començaven a integrar els processos de producció i difusió d'àmfores, en un intent per a reconstruir antigues xarxes d'intercanvi.

Pel que respecta a la recerca catalana, el primer esdeveniment de referència tal vegada seria el col·loqui de l'any 1985 organitzat pel Museu de Badalona amb el títol *El vi a l'Antiguitat, economia, producció i comerç al Mediterrani occidental*. Aquest col·loqui és un primer intent d'harmonitzar les dades generades fins aquells moments sobre la producció i difusió amforal del període alto-republicà i baix imperial. En les actes d'aquest col·loqui es publiquen, entre d'altres, treballs referents al desenvolupament de la viticultura i la producció d'àmfores a l'àrea catalana en època romana (Pascual 1987; Tremoleda 1987), al context històric en què té lloc aquest fenomen (Guitart 1987; López *et al.* 1987), i al transport i la difusió d'aquests productes a altre províncies romanes (Beltrán 1987; Comas 1987; Izquierdo 1987; Miró 1987; Tchernia 1987). És també en aquest col·loqui on Nolla (1987) suggereix la denominació *Tarraconense 1* per al tipus ja definit prèviament per Comas (1983) com *Laietana 1*.

L'any 1998 es realitza la segona edició d'aquest col·loqui seguint la mateixa línia temàtica. En les actes d'aquest col·loqui apareixen treballs sobre el cultiu i la elaboració del vi en l'Antiguitat a partir de l'estudi de les fonts clàssiques (Amouretti 1998) i de l'anàlisi de restes paleobotàniques (Tresserras 1998), s'aporten noves dades sobre centres productors d'àmfores (Buxeda i Gurt 1998; Carbonell 1998; Gurri *et al.*

1998; Padrós 1998), així com sobre el transport i la difusió d'aquests productes (Asensio i Martín 1998; Gianfrotta 1998; Nieto i Raurich 1998).

Entre les dues edicions d'aquest col·loqui es publicaren tres treballs de síntesi sobre la producció i la difusió d'aquestes àmfores. El primer és el de Miró (1988). En aquest treball es revisa la producció i difusió de les àmfores del període tardo-republicà i baix imperial. Concretament, es revisen les produccions dels centres documentats a l'antiga àrea de la Laietània, així com en les actuals àrees de Girona i Tarragona. Pel que respecta a les àmfores, l'estudi inclou els tipus Dressel 1, Laietana 1/Tarraconense 1, Pascual 1, Dressel 2-4, Oberaden 74 i Dressel 7-11. En aquest treball, Miró ja constata algunes de les limitacions que comporta la metodologia arqueològica tradicional i fa unes reflexions interessants en referència a la identificació de les àmfores i sobre les diferències en l'aparença de les fàbriques ceràmiques:

*“[...] Una primera observación es la diversidad de pastas, lo cual es totalmente lógico si pensamos, atendiendo a la distinta composición geológica de las arcillas, en la variedad de sus yacimientos. [...] Esto significa que vemos más lógico agrupar las arcillas por procedencias que por tipos anfóricos. E, incluso dentro de un mismo horno, es posible constatar diferencias, debidas especialmente a la cocción.”*(Miró 1988: 105).

El següent treball de síntesi és el de Víctor Revilla (1995). En aquest estudi s'incideix especialment, a partir de les dades del registre arqueològic, de les fonts clàssiques i de l'epigrafia amforal, en els factors econòmics associats al desenvolupament de la viticultura en el nord-est peninsular entre els segles I aC i III dC. Tanmateix, les àmfores no són l'únic objecte d'estudi d'aquest treball. L'interès es centra en tota la producció ceràmica que es dona en el context rural, i en la manera en què aquesta s'integra en el context econòmic del canvi d'Era, un context, això sí, on la viticultura i el comerç del vi tenen un paper clarament predominant. Una de les aportacions més interessants del treball de Revilla és la constatació de la complexitat del fenomen de la producció amforal, que es desprèn de la multiplicitat de situacions tant pel que fa als productes produïts com a la mateixa organització de la producció —des de petits tallers associats a *villae* fins a centres productors de gran entitat que mantenen la

seva activitat durant varis segles. En aquest treball, a més, es presenta, seguint la síntesi de Miró (1988), un exhaustiu inventari dels centres productors d'àmfores documentats al llarg de l'actual costa catalana, des de Benifallet fins a Vilacolum. La documentació epigràfica serà ampliada en un treball posterior (Revilla 2004).

L'any 1998 es publica el treball de Montserrat Comas on aborda la difusió a la Gàl·lia de les àmfores dels tipus Dressel 1, Laietana 1, Pascual 1 i Dressel 2-4 de suposada provenença laietana. Aquesta autora situa l'inici de la difusió del vi laietà al voltant de l'any 40 aC. En aquests moments, el vi laietà seria transportat bàsicament en àmfores del tipus Laietana 1, mentre que el tipus anterior, Dressel 1, no es trobaria més que d'una manera testimonial a la Gàl·lia. Segons aquesta autora, el tipus Laietana 1, clarament diferenciat del Dressel 1, s'hauria dissenyat precisament per tal de fer recognoscible el seu producte: el vi laietà. En les seves pròpies paraules:

*“[...] C'est comme si on voulait rompre avec le monde des Dressel 1 italiques et fabriquer un emballage pour éter reconnu et distingué, peut-être pour en différencier le contenu.”*  
(Comas 1998: 226).

El vi laietà envasat en aquestes àmfores arribaria al port de Narbona des d'on seria redistribuït cap a l'interior, seguint els cursos dels rius Aude i Garonne. Aquest comerç, continua Comas, arribaria al seu màxim esplendor alguns anys després amb el vi envasat en les àmfores Pascual 1. Aquest tipus és el que es documenta en un major nombre de jaciments i el que sembla que perduraria més en el temps. Així, el vi envasat en aquestes àmfores seria el que hauria inundat els mercats de les Gàl·lies durant gairebé mig segle. Posteriorment, ja al voltant del canvi d'Era, el vi laietà seria distribuït en un nou envàs, el tipus Dressel 2-4. Aquests envasos es documenten en un nombre de jaciments molt inferior que la Pascual 1 i, fins i tot, que la Laietana 1. Aquest fet és interpretat per Comas com una evidència de la disminució en la intensitat del comerç del vi laietà. Aquest període, els primers anys del segle I dC, coincideix també amb el moment en què s'inicia la producció a gran escala de vi local a la pròpia Gàl·lia. Aquest fet explicaria la reducció del nombre de recipients laietans en contextos gals, donat que, possiblement, els comerciants del vi laietà haurien dirigit el seu producte cap a un altre mercat, tal vegada Roma.

Entre els treballs de síntesi publicats recentment cal destacar el de Joaquim Tremoleda (2000) en el qual, tot i que les àmfores tampoc es reconeixen com el principal objecte d'estudi, les produccions augustals i alto imperials són descrites de manera exhaustiva. De manera similar al de Revilla (1995), aquest treball parteix d'un concepte unitari de les produccions ceràmiques en contextos rurals. Així, junt a les àmfores, l'estudi es centra en les ceràmiques comunes, *dolia*, i materials de construcció recuperats en els centres productors de l'actual àrea gironina. Aquest plantejament parteix de la constatació de la complexitat del fenomen en què s'integra aquesta activitat artesanal. Una de les grans aportacions d'aquest treball és de caire metodològic. La importància d'aquesta aportació parteix del fet que, en l'actualitat, la gestió del comerç del vi i els mecanismes de control dels circuits mercantils són aspectes àmpliament desconeguts. Igualment, existeix un gran buit de coneixements sobre la identitat i els mètodes emprats per aquelles persones que haurien estimulat la distribució d'aquesta mercaderia. En aquest sentit el treball de Tremoleda aporta nous elements per abordar aquesta problemàtica a partir de la identificació en l'epigrafia amforal de personatges que haurien participat activament en el comerç del vi produït al nord-est peninsular de la *Tarraconensis* (Tremoleda 2000, 2005).

Per finalitzar, cal destacar que algunes de les darreres novetats de la recerca arqueològica sobre la viticultura en època romana varen ésser presentades en el simposium celebrat el 2005 a Barcelona com a *Homenatge a Pascual. La producció i el comerç de les àmfores de la província Hispania Tarraconensis*, i ja més recentment, en el simposium celebrat el 2007 a Tarragona i a Teià amb el títol *El vi Tarraconense i Laietà: Ahir i Avui*.

# CAPÍTOL 5

---

## ELS CENTRES PRODUCTORS I ELS CENTRES RECEPTORS

### 5.1 *Preliminar*

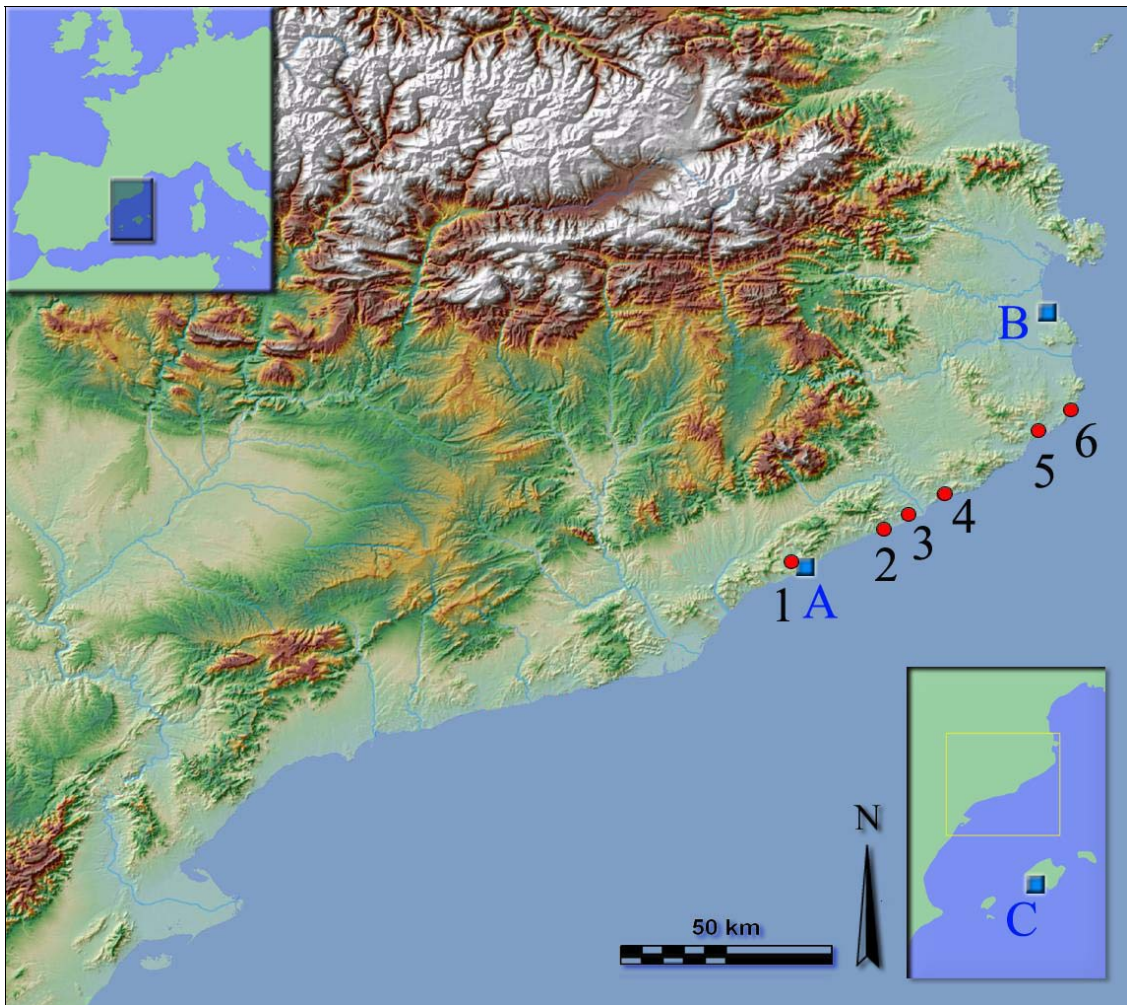
**T**ot el que hem vist en els capítols precedents pot ésser plantejat com un procés de canvi tecnològic que afecta a la producció amforal al nord-est de la península Ibèrica i que s'inicia, aparentment, després del final de la segona guerra Púnica. Després d'aquest conflicte, el territori queda dominat per una nova estructura política. A partir de la victòria i la conquesta romana s'imposaren canvis substancials que són clarament documentats en el registre arqueològic. Els canvis més importants es manifesten en nous patrons d'assentament i en la implementació de noves estratègies d'explotació del territori. Dins d'aquest entramat complex es produeix també un canvi en la manera de fabricar les àmfores, especialment evident pel que respecta el disseny dels envasos. La fabricació d'aquestes àmfores s'integra en un procés productiu més ampli, la principal finalitat del qual és l'elaboració de vi per a ésser exportat. Un aspecte que considerem especialment rellevant de tot aquest procés és la intensitat amb què es dona; segons l'estat actual de la recerca, es coneix l'existència d'aproximadament una seixantena de tallers que produïren, entre d'altres tipus ceràmics, les àmfores objecte del nostre cas d'estudi. Per bé que cada taller sembla tenir una

dinàmica pròpia, la majoria d'ells inicien la seva activitat entre el segon i primer quart de segle I aC i la mantenen, almenys pel que respecta a la producció amforal, al llarg del primer segle de l'Era cristiana i, en alguns casos, mes enllà.

En aquest capítol s'exposa, primer de tot, un petit esbós de la geomorfologia i petrologia de les zones on es localitzen els centre productors. Considerem aquesta informació rellevant en tant que les diferents provinences de la matèria primera emprada en la cofecció de les àmfores ha d'haver afectat, en major o menor mesura, la seva composició química. A continuació es presenten algunes dades arqueològiques sobre els centres productors i receptors dels quals s'han mostrejat conjunts amforals per a la seva anàlisi. Malauradament, gairebé totes les excavacions d'aquests jaciments foren preventives i, per tant, realitzades només de manera parcial. Així mateix, també és força habitual el fet de no comptar amb dades publicades, per la qual cosa, en alguns casos, ens hem hagut de referir exclusivament als resultats inèdits de les memòries arqueològiques.

En finalitzar l'apartat de cada centre es presentarà un breu inventari dels individus caracteritzats.





**Figura 7.** Localització dels centres productors (●) i receptors (■). **1:** Can Notxa (Argentona); **2:** El Mujal (Calella); **3:** C/ de Guillem de Palafolls (Malgrat de Mar); **4:** Fenals (Lloret de Mar); **5:** Collet de Sant Antoni de Calonge (Calonge); **6:** Llafranc (Palafrugell); **A:** *Iluro* (Mataró); **B:** *Emporiae* (Empúries); **C:** *Palma* (Palma).

El nostre cas d'estudi de canvi tecnològic parteix d'una mostra d'individus amforals procedents de sis centres productors i de tres centres receptors (Figura 7). Els centres productors en estudi són els documentats en els jaciments de Can Notxa, situat en el municipi d'Argentona (Maresme); El Mujal, situat en el municipi de Calella (Maresme); C/ de Guillem de Palafolls n° 40 i 42, del municipi de Malgrat de Mar (Maresme); Fenals, situant en el municipi de Lloret de Mar (Selva); Collet de Sant Antoni, situat en el municipi de Calonge (Baix Empordà); i Llafranc, situat en el municipi de Palafrugell (Baix Empordà). D'altra banda, els centres receptors dels quals s'han mostrejat àmfores per al seu estudi corresponen als jaciments de les ciutats

romanes d'*Iluro* (Mataró, el Maresme), *Emporiae* (Empúries, Alt Empordà), i *Palma* (Palma, Illes Balears).

## 5.2 Els centres productors

Tots els centres productors es localitzen al llarg de l'actual zona litoral de Catalunya. Geològicament es tracta d'una zona dominada clarament per les formacions de roques plutòniques, bàsicament de granits i de granodiorites, per bé que, com exposarem a continuació, també s'observa una relativa heterogeneïtat en els contextos on es situen els centres productors del nostre cas d'estudi.

<i>Centres Productors</i>			
Nom del jaciment	Període de funcionament*	Produccions amforals	Estructures de forns
Can Notxa	Mitjan s. I aC – Segona meitat s. III dC	L1/T1 P1	+
El Mujal	Mitjan s. I aC – Segona meitat s. I dC	L1/T1 P1 Dr 2-4	–
C/ de Guillem de Palafolls	30-15/20 aC–30/40 dC	P1 Dr 2-4	–
Fenals	20/15 aC–80/85 dC	L1/T1? P1 Dr 2-4	+
Collet de Sant Antoni de Calonge	Darrer terç/quart s. I aC – Tercer quart s. I dC	L1/T1 P1 Dr 7-11 Ob74 Dr 2-4	+
Llafranc	Finals s. I aC – Mitjan s. III dC	L1/T1 P1 Dr 7-11 Ob 74 Dr 2-4 G4	+

**Taula 4.1.** Quadre resum de la cronologia dels tallers, els tipus amforals suposadament produïts i la presència (+) o absència (–) d'estructures de forn.

### 5.2.1 Una síntesi del marc geològic general

Dels sis centres productors que formen el nostre cas d'estudi, tres d'ells es localitzen a l'actual comarca del Maresme (Can Notxa, El Mujal, i C/ de Guillem de Palafolls), un a

la comarca de la Selva (Fenals), i dos a la comarca del Baix Empordà (Collet de Sant Antoni de Calonge i Llafranc).

Pel que respecta a la zona del Maresme, des del punt de vista morfològic es poden diferenciar tres unitats bàsiques; la serralada litoral, que en punts entre Calella i Caldes d'Estrac arriben a la mar, la plana litoral i la línia de costa. Els cursos hidrogràfics es disposen en un pla perpendicular respecte de la mar, tallant transversalment la comarca, i configurant l'actual plana Litoral a peu de la serralada, degut a que després de les precipitacions, les aigües transporten des de la serralada grans quantitats de sauló entre les rieres i els torrents. Aquesta plataforma litoral és d'una cronologia molt recent, a escala geològica, i està formada pels al·luvions, és a dir, per un conjunt de sediments transportats i sedimentats. Aquesta aportació ha conformat al·luvions d'un gruix molt considerable, com serien el cas de Llavaneres, Caldetes, Arenys o Sant Pol de Mar. Arribats a aquest punt, és important fer esment, encara que sigui de manera breu, al que representa el litoral des d'una òptica morfològica, doncs és un dels aspectes que amb més freqüència, des de la literatura arqueològica, se'n fa referència de manera poc precisa. En termes generals, el litoral comprèn el cinyell del continent afectat pels processos marins en sentit ampli, i la part submergida esporàdicament o permanent amb influència directa del continent. La zona litoral és, doncs, la zona de transició i influència mútua entre les terres emergides i el medi marí. Cal tenir en compte que, a escala geològica, la situació i les característiques de la línia de costa en una regió concreta poden canviar amb relativa rapidesa. La línia de costa és, a cada moment, el resultat de l'equilibri entre les forces d'origen marí i les forces d'origen continental. Qualsevol modificació d'aquest equilibri pot afectar la línia de costa. És per això que els canvis relatius al nivell de la mar, siguin d'origen climàtic o epeirogènic, exerceixen un paper determinant. És tan freqüent, en aquest sentit, trobar antigues platges aixecades a molts metres per damunt de l'actual nivell de la mar, com trobar antigues barres o formacions litorals a més de cent metres de profunditat. De tots aquests fenòmens en pot donar comptes l'Arqueologia, i més concretament l'Arqueologia Subaquàtica que en documenta constantment. És per això que no deixa de sorprendre el fet que moltes de les publicacions arqueològiques sobre els centres productors —però també sobre els receptors— del nostre cas d'estudi es refereixen a la

distància dels diferents centres respecte de la mar, en funció de la ubicació actual de la línia de costa. A partir dels estudis geològics, entre d'altres, se sap que la línia de costa ha anat guanyant terreny a la mar des d'època romana, moment en què no existien, per exemple, ni l'actual delta del Llobregat ni el delta de la Tordera.

Des del punt de vista geològic, l'àrea de la comarca del Maresme constitueix una de les restes de l'antic massís Catalano-Balear, format per gran plaques de magma solidificat —granit en major proporció— que, després de l'emersió dels Pirineus, tancava el gran golf marí terciari pel sud-est. A sobre d'aquesta base granítica es dipositaren materials paleozoics, bàsicament pissarres i roques calcàries (DD.AA. 2002). Al final de l'orogènia alpina, fa entre 60 i 15 milions d'anys, la major part d'aquest massís quedà submergit, quedant emergida només la franja de terreny que avui coneixem com les Serralades Costaneres, formada principalment per granits i grandiorites, materials que predominen actualment en el subsòl de la comarca (ITGME 1993). Dues fractures paral·leles provocaren l'ensorrament d'un bloc intermedi per on penetrà l'aigua, formant un estret golf que, posteriorment al seu rebliment, acabà conformant la depressió Prelitoral. A banda i banda es configurà la serralada Prelitoral, situada més a l'interior, i on es troben els cims més alts (el Montsià, massís dels Ports, serres de Cavalls i Pàndols, serra de Cardó, serra de Tivissa, serres de Colldejou i Llaeria, serra de la Llena, el Montsant, Prades, el bloc del Gaià, Montserrat, Sant Llorenç del Munt, el Montseny, i les Guilleries), i la serralada Litoral o de Marina, on els cims són de menor altitud i molt més erosionats per l'acció dels rius, la temperatura i la humitat (massís del Garraf, Collserola, Sant Mateu, el Corredor, el Montnegre, el Puig de les Cadiretes, i el massís de les Gavarres).



L'erosió produïda al llarg del sistema Quaternari ha estat, i és encara avui dia, el resultat bàsicament de l'acció de l'àcid carbònic que porten les aigües procedents de la pluja i que facilita la descomposició, amb relativa facilitat, dels materials granítics. El granit, format principalment per tres grups de minerals, quars, mica i feldspat, s'altera fàcilment després d'aquesta meteorització química i es transforma en una formació arenosa que rep el nom de sauló. En aquesta formació arenosa, els feldspats queden desfets i passen a formar part d'argiles, les miques queden fortament esmicolades i, en conseqüència, es redueix substancialment la seva granulometria, mentre que el quars és l'únic element que roman inalterable, mantenint la seva consistència i duresa, i esdevenint el principal component del sauló.

Uns dels trets geològics característics de les Serralades Costaneres és l'alta variabilitat de materials formats durant les diferents eres geològiques. La meitat septentrional dels sistemes muntanyosos, aproximadament des del riu Llobregat vers el nord, està formada, en termes molt generals, pels materials més antics de l'era del Paleozoic, mentre que a la meitat sud hi predominen els materials del Mesozoic i Cenozoic.

Concretament, en l'àrea actual del Maresme només es troben algunes formacions paleozoiques, dels sistemes Silurià i Devonian, afectats per metamorfisme de contacte relacionat amb la intrusió dels granits i grandiorites tardo-hercinianes, com seria el cas dels afloraments de pissarres setinades al turó de les Tres Creus, junt a la confluència dels rius Congost i Mogent, i a Sant Feliu de Codines, així com de les taques d'esquistos pissarroso i d'esquistos feldspàtics, per exemple, al Turó de Cerdanyola i al turó de Nofre Arnau.

Els afloraments del sistema Triàsic estan reduïts a una àrea petita localitzada al nord de Caldes de Montbui, la qual està formada per conglomerats de quars, de matriu i cimentació de sílice, dipositats directament sobre el granit, que passen a arenites i limonites vermelles en la part superior. Aquesta és una de les zones que ha prevalgut a l'erosió preocena de la cobertura sedimentària de la serralada Prelitoral.

Pel que respecta als sediments del Neogen que afluïren en l'àmbit de la Figura 8, cal dir que formen part dels materials de rebliment de la cubeta del sistema Vallès-Penedès. Estan formats per arenites i argiles arcòsiques, producte de la meteorització i

sedimentació del granit, i es localitzen en les proximitats dels afloraments granítics de la serralada prelitoral, pels voltants de Caldes de Montbui. Cap al sud, les arenites passen gradualment a argiles groguenques amb fraccions detrítiques i conglomerats, que desapareixen en direcció est, el contrari del que ocorre en direcció oest, on augmenten progressivament de potència. Igualment és important assenyalar que la serralada litoral també presenta fases d'arenites, arcosa i conglomerats d'arcosa de color vermellós amb afloraments de pissarres i de roques granítiques. A l'oest s'hi observen també conglomerats que presenten afloraments de pissarres i roques metamòrfiques.

En quant als materials del sistema Quaternari, cal dir que presenten poca potència i que es limiten als dipòsits de les terrasses fluvials i als llims argilosos que n'estan associats, així com a l'erosió de pendents argiloses més o menys consolidades. Aquestes formacions es localitzen adossades a la serralada prelitoral, en el punt de contacte amb la depressió del Vallès. Totes les terrasses estan formades per macs o còdols de pissarres, roques granítiques, calcàries, arenites amb matriu arenosa i llims vermells (IGME 1977; ITGME 1993).

Des del punt de vista petrològic, la major part dels terrenys de la comarca del Maresme estan constituïts per roques ígnies plutòniques; granits i granodiorites, les quals estan formades essencialment per quars, feldspat alcalí i plagiòclasi, la primera, i per plagiòclasi, quars, oligòclasi, més rarament andesita, i quantitats menors de feldspats alcalins, hornblenda i biotita, la segona. La granodiorita ocupa la major part de l'extensió de les roques ígnies (ICC i IGC 2006) (Figura 8) En general, es tracta de roques molt homogènies pel que respecta a la seva composició i a la seva granulometria. Acompanyant a la granodiorita, es localitzen també alguns punts diferenciats d'altres formacions àcides com, per exemple, el leucogranit, el qual està constituït per feldspat alcalí, quars i plagiòclasi, així com per biotita i moscovita com a minerals accessoris; el granòfir, format per microclina, quars i plagiòclasi, així com per biotita i moscovita com a minerals accessoris; el monzogranit, localitzat en els vessants de les formacions àcides i format per feldspat alcalí, quars, plagiòclasi i biotita, amb zircó, apatita, moscovita i epidota com a minerals accessoris; l'aplita, formada per feldspat alcalí, quars i plagiòclasi; i, finalment, la pegmatita, constituïda per quars, microclina i plagiòclasi. Sembla interessant ressenyar el fet que aquests complexos àcids són més resistents a

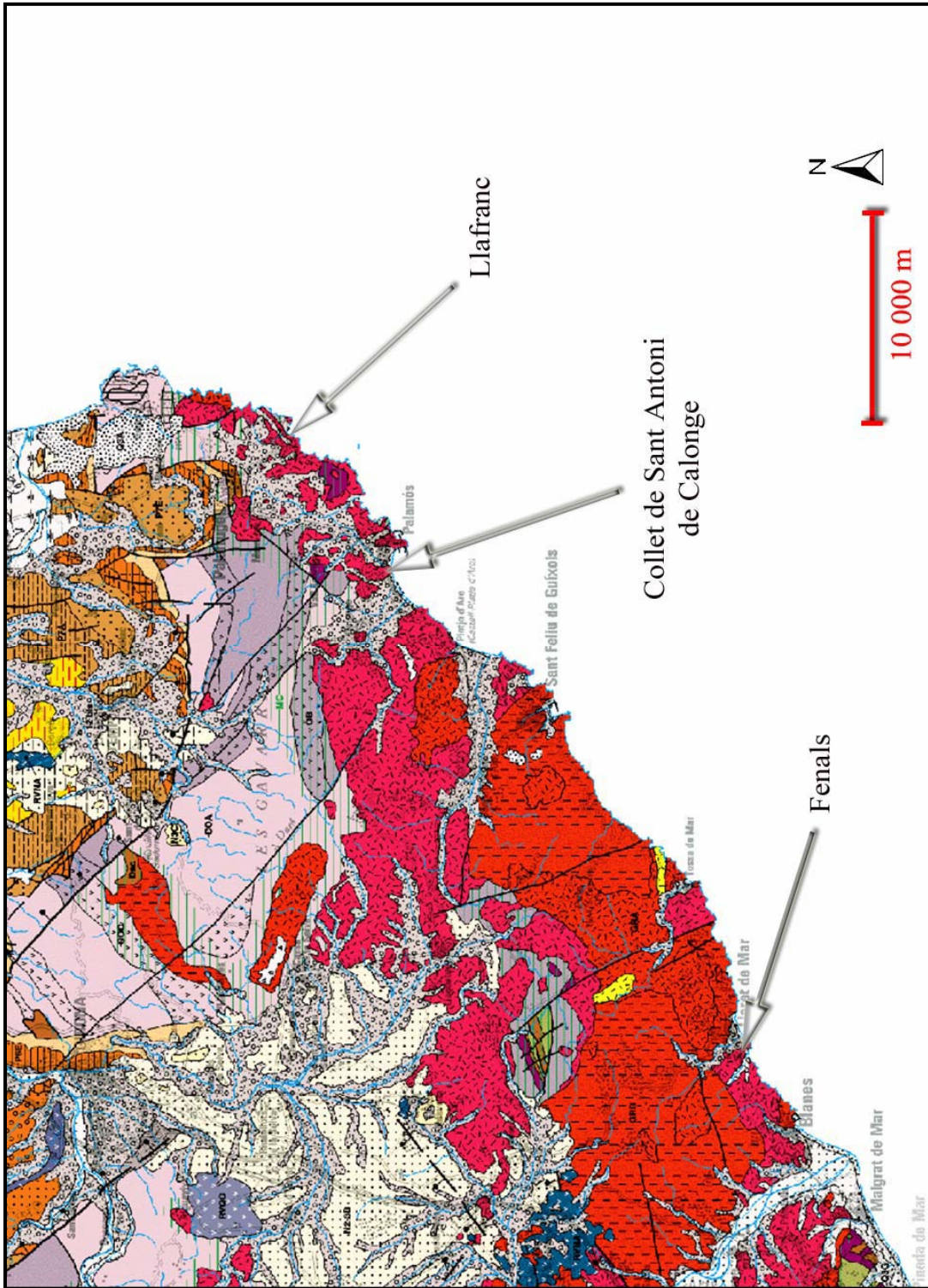
l'erosió que les altres roques que afloren pels voltants i, en conseqüència, acostumen a formar els serrats i turons de més alçada, com Burriac, Céllecs o el Corredor. D'altra banda, també es localitzen els típics filons de quars junt a filons de roques bàsiques i ultrabàsiques, de composició monzonogàbrica a gàbrica.

En aquesta zona s'hi observa també un cert metamorfisme regional, per bé que de poca intensitat, amb petits indicis de roques metamòrfiques representats per afloraments de pissarres clapades de biotita. També és interessant destacar la presència, entre les localitats de Pineda i Malgrat, de petites àrees sedimentàries de lidites amb nòduls de fosfats i de calcàries, concretament pels voltants de Sant Miquel de Vallmanya, per a on travessa la riera de Santa Susanna (ICC i IGC 2006; IGME 1977; ITGME 1993).

El marc geològic d'una part de les actuals comarques de la Selva, on es localitza el centre productor de Fenals, i del Baix Empordà, on es localitzen els centres productors del Collet de Sant Antoni de Calonge i de Llafranc, està representat a la Figura 9. Una bona part d'aquest mapa està ocupada per roques ígnies que pertanyen al gran batòlit de la Serralada Costanera, mentre que queden relegats els materials sedimentaris a alguns afloraments que es poden observar en la banda nord-occidental del mapa, en la zona de la depressió de la Selva, així com en els afloraments quaternaris desenvolupats al llarg de les principals vies fluvials. D'altra banda, en la zona entre Calonge i la platja de Pals es pot observar com hi afloren materials paleozoics, amb diferents graus de metamorfització, així com granitoides que configuren el massís de Begur, el qual ocupa una àmplia franja de la costa. Aquest conjunt forma part de la Serralada Litoral, igual que ho és el bloc de les Gavarres, del qual n'està separat pel Corredor de Palafrugell, a on aflora la sèrie sedimentària de l'Eocé afectada per la tectònica distensiva (IGME 1983a, 1983b).

La zona de les Serralades Costaneres entre Lloret de Mar i Platja d'Aro està ocupada principalment per roques intrusives tardihercinianes, mentre que els materials sedimentaris es localitzen devers Santa Cecília i Santa Susanna, afectats severament per un metamorfisme de contacte, pels voltants de Llagostera, a on es localitzen sediments arcòsics del terciari, així com també al quaternari associat a la xarxa fluvial.





**Figura 9.** Localització dels centres productors de Fenals, Collet de Sant Antoni de Calonge i de Llafranc sobre mapa geològic 1:250000. Veure llegenda a l'Annex 3.

Els trams inferiors de la sèrie estratigràfica paleozoica corresponen als sistemes Ordovicià i Silurià, i està format bàsicament per un conjunt pelític amb esquistositat generalitzada, que es va veure afectat, posteriorment, per un metamorfisme de contacte associat a la intrusió granítica. Els afloraments més importants d'aquestes geocronologies es documenten en l'àrea de Caulès, per bé que no se n'ha pogut determinar la seva potència (IGME 1983b: 4). En la zona nord del mapa també es poden observar part d'aquests materials més antics. Es tracta de pissarres o filites argiloses de color verd, especialment en les capes bassals on apareixen fases de metamorfisme regional suau amb quars, albita, moscovita i clorita. Aquest tram apareix clarament en tota la zona més septentrional de la costa, aproximadament a partir del cap de Begur, on les intrusions granítiques no han esborrat totalment les característiques primàries de la sèrie originària. També en aquesta zona hi apareixen àrees de calcàries i calcoesquistos.

Pel que respecte el material terciari, cal destacar-ne els afloraments del Pliocè en part de la zona meridional de la depressió tectònica de la Selva, litològicament constituïts per dipòsits detrítics fins, arenita i argiles, així com els afloraments més antics del sistema Paleogen que afloren en tot el sector septentrional del mapa. En aquest cas es tracta principalment de conglomerats, arenites, argiles, calcàries detrítics —en la platja de Pals—, argiles i margues blaves.

Els materials més recents del Quaternari es troben representats especialment en els dipòsits formats per còdols, llims i graves de la zona del riu Ridaura i Castell d'Aro, al voltant de Sant Antoni de Calonge, a partir d'on estan àmpliament representats en tota la zona septentrional del mapa. En aquesta zona els dipòsits quaternaris cobreixen gran part dels materials del sistema Paleogen del qual n'hem fet esment, però també de l'àmbit paleozoic al sud de Palafrugell, faltant en el massís de Begur i en gairebé tota la franja costanera on afloren els materials metamòrfics i granits associats. Una mica més al sud, devers Sant Feliu de Guíxols i s'Agaró, els dipòsits més recents tenen la mateixa natura litològica que la de la roca sobre la qual s'assenten, en aquest cas el massís leucogranític. Al peu d'alguns vessants i en el canvi de pendent amb zones planes, s'observen uns dipòsits en forma de falca el màxim espessor dels quals coincideixen amb el punt de ruptura de la pendent i per la part baixa de la qual és freqüent que s'uneixi amb dipòsits al·luvials. Aquests estan constituïts per argiles i sorres amb grans

de quars i feldspats, en funció de l'àrea mare d'on proveniu. Es poden observar en la zona de Fenals, Tossa de Mar, Sant Feliu de Guíxols, Santa Cristina d'Aro, Sant Antoni de Calonge i Llafranc, desenvolupats al peu dels massissos granítics d'on provenen.

Pel que respecte a la petrologia de la zona que cobreix el mapa de la Figura 9, el panorama més immediat a la zona on s'assentaren els centres productores està dominat per les roques ígnies. Aquestes dominen el massís de grans dimensions que recorre en paral·lel la costa, de sud-oest a nord-est. Entre la depressió del Vallès fins al seu límit septentrional amb la zona de les Gavarres, s'han distingit fins a cinc fàcies de granit en les quals s'hi observa una relació inversament proporcional entre la basicitat dels seus components i la resistència a l'erosió (IGME 1983b: 13-14). En concret, s'observa com les formes de topografia més suaus es corresponen amb formacions de granits amb abundància de minerals melanocràtics i, per tant, més bàsiques, mentre que els granits més àcids es localitzen en les formes de relleu més destacades, com ara el massís de les Cadiretes o Puig Montclar, entre d'altres.

Es poden distingir diverses fàcies petrogràfiques pel que respecte els afloraments de roques plutòniques. Així, el mapa apareix dominat en la banda de la costa per les fases de granodiorites biotítics, que apareix fortament desenvolupada en les proximitats de la depressió de la Selva, així com al voltant de Lloret de Mar i Sant Feliu de Guíxols, en els canvis de vessant entre les altes elevacions i la mar, essent predominant en tots els massissos intrusius de la zona. L'altra fase predominant és la de granodiorita i granit biotític, que està constituït, en termes generals, per plagiòclasi, quars, ortosa, microclina i biotita. Els accessoris més freqüents són l'apatit, zircó i moscovita i, amb menys freqüència, la turmalina, hematites i minerals opacs. Una varietat d'aquesta massa intrusiva granodiorítica la representa la granodiorita porfídica. Aquesta apareix associada gairebé sempre a zones de fracturació i en contacte amb granodiorites i la cobertora paleozoica. Mineralògicament mostra els mateixos components que la granodiorita normal, diferenciant-se només per la presència de fenocristalls o fenoblastos de feldspat i plagiòclasi. Els afloraments més importants d'aquesta fàcies es localitzen en la zona de s'Agaró. Així mateix, devers Ermedàs, al sud de Palafrugell, i en els vessants dels actuals accessos a les platges de Calella i de Llafranc, hi afloren uns petits retalls d'un granitoide d'aspecte bretxoide o cataclàstic,

constituït clarament per albïta i feldspat alcalí, que apareix en làmina prima com a agrupacions glomerporfídiques pertítiques englobant a una massa formada per un intercreixement molt fi de cristalls d'albïta. En quan als accessoris cal destacar-ne el quars, la clorita, l'apatit, i altres minerals opacs. El leucogranit aplític aflora en la banda de la costa, especialment entre Aiguablava i Tamariu, devers Llafranc. Es tracta d'un granit de tendència leucocràtica, constituït per feldspat alcalí, ortosa i microclina, quars, plagiòclasi, així com per moscovita i biotita, si bé en proporcions menors, junt al zircó i l'apatit. En les zones topogràficament més altes es troben també afloraments de leucogranits de gra més gruixut, com en el massís de les Cadiretes o al pic Montclar, entre Tossa i Sant Feliu de Guíxols. Són típiques d'aquest tipus de granit les tonalitats clares i rosades, així com la mida del gra que li confereix una aparença macrogranular molt característica. Els minerals més importants que el formen són el quars, feldspat alcalí i plagiòclasi, amb biotita, zircó i moscovita com a accessoris. Amb la mateixa composició, però amb un gra de mida molt més fina, apareix el leucogranit de dues miques, el principal aflorament del qual es localitza al nord de Castell d'Aro i devers Calonge, junt als sediments quaternaris de còdols i llims. Una de les característiques és la seva resistència a l'erosió a conseqüència de la seva alta compactació. També de gra fi i considerablement resistent a l'erosió és l'aflorament de leucogranit aplític de grans dimensions que es troba al nord de Tossa, i que és travessat per una gran massa filoniana de natura àcida.

El complex batòlit granític, amb les seves diverses fàcies, és travessat per un variat conjunt de roques filonianes, predominant els de composicions més àcides al nord del mapa. En general, es tracta de lampròfirs encaixats normalment en les granodiorites, i que presenten freqüentment unes composicions de plagiòclasi, hornblenda i biotita amb alguns casos de magnetita, quars, esfèn i apatita com a accessoris; i pòrfirs de composició granodiorítica i granítica, composts fonamentalment per quars, feldspat alcalí i plagiòclasi amb biotita com a fase accessòria (per a una descripció més àmplia veure DD.AA. 2002: 194-197).

Finalment, els processos metamòrfics que afecten als materials paleozoics estan lligats a la intrusió granítica, variant les seves fàcies metamòrfiques en funció de la composició primària i, evidentment, de la intensitat del metamorfisme. Per al nostre

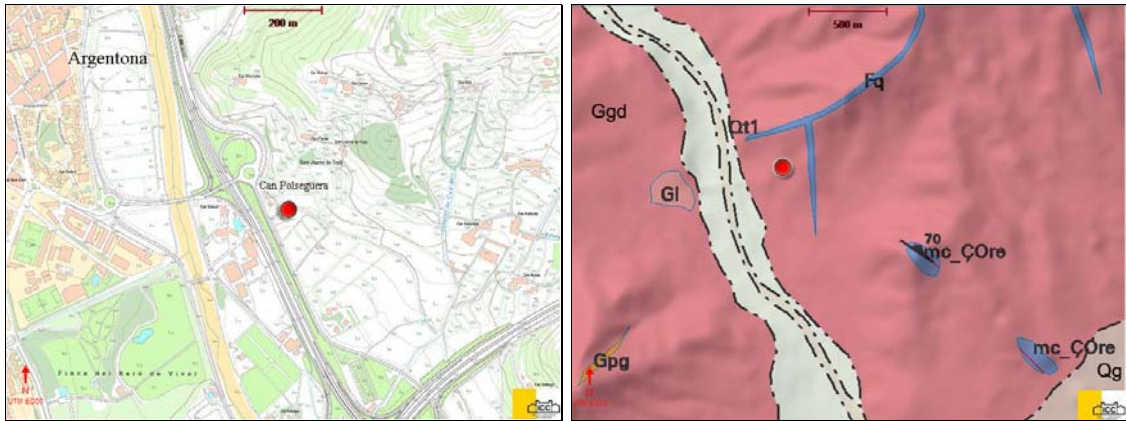
interès cal destacar el metamorfisme de contacte sobre pissarres alpelítiques, localment calcàries, lidites i radiolarites, localitzat en la zona de l'actual Vall-llòbrega, així com les roques afectades per metamorfisme de contacte associades als granitoides en la zona de Llafranc. Una mica més al nord, en la zona de Begur, els materials situats estratigràficament a sota de les calcàries del Devonià no estan afectades pel metamorfisme de contacte. En aquesta àrea, en canvi, hi predominen les filites, molt replegades, i amb abundància de clorita. Freqüentment s'hi observa una estructura bandada que pot ésser primària, amb enriquiment de clorita i moscovita en les capes argiloses i de quars i feldspat en les arenoses. El conjunt de fases minerals en equilibri químic que caracteritza el metamorfisme regional d'aquesta zona inclou quars, clorita, moscovita i albita (IGME 1983a, 1983b).

### **5.2.2 El centre productor de Can Notxa (Argentona)**

El jaciment d'època romana de Can Notxa es troba en el municipi d'Argentona, situat al costat esquerra de la riera d'Argentona (en direcció a la mar), a uns 250 m del seu actual curs, a l'alçada del punt quilomètric 2.6 de la carretera C-1415 de Mataró a Argentona, actual C-60. Es situa en una àrea plana, la vall d'Argentona, per bé que a un nivell superior de la resta de la zona, a uns 70 m s.n.m., on habitualment es produïen inundacions provocades pel vessament de la riera (Rigo 1996).

Com ja hem dit en la síntesi del marc geològic general, el subsòl d'aquesta zona està format majoritàriament per roques plutòniques. Més concretament, en l'àrea més immediata al taller, això és, l'àrea dins el radi d'un quilòmetre de distància (Arnold *et al.* 1991: 85) es localitzen principalment granodiorites i granits alcalins, filons de quars, petites taques de leucogranits i de materials afectats per metamorfisme de contacte, així com els materials que pugim ésser aportats pel curs de la riera d'Argentona.

L'excavació arqueològica d'aquest jaciment es realitzà de manera preventiva per mor de la construcció del primer tram de l'autopista entre Mataró i Granollers, l'any 1994. De fet, aquesta zona ja havia estat objecte d'una prospecció superficial que va portar a la realització de varis sondeigs i a la delimitació dels terrenys propers de Can Beatriu, que donà resultats negatius, i de Can Blanc, on varen ésser identificades les restes d'una vil·la romana que fou posteriorment excavada (Carreras i Rigo 1994).



**Figura 10.** Localització del centre productor de Can Notxa sobre mapa topogràfic 1:5000 (esquerra) i geològic 1:50000 (dreta). **Fq:** Filons de quars; **Ggd:** Granodiorites i granits alcalins; **GI:** Leucogranits; **Gpg:** Pòrfirs àcids; **mc\_ÇOre:** Esquists i gneis, materials afectats per metamorfisme de contacte; **Qg:** Peu de mont (enderrocs de pendents i fàcies proximals de ventalls al·luvials); **Qt1:** Terrassa fluvial: Graves, sorres i lutites.

Les primeres dades publicades que fan referència a l'existència en aquest indret de possibles restes arqueològiques d'època romana són les de Ribas (1933). Segons les notícies proporcionades per aquest autor, en el moment de construir la carretera entre Mataró i Argentona, a principis de segle XX, varen ésser descoberts uns enterraments dipositats en unes cavitats excavades a la terra i treballades amb fang pastat i poc cuit, un dels quals contenia una urna cinerària de dues nanses que contenia restes d'ossos i de cendres. Igualment, es fa referència a l'existència d'altres cavitats també excavades en el terreny, d'una possible sitja, així com de restes de murs que haurien configurat quatre habitacions, i restes de paviments d'*opus signinum*. També en aquesta primera publicació es fa esment a la possible presència d'un forn per a la cocció de ceràmiques.

Posteriorment, Mestres (1978) interpretà com a les cendreres d'un forn destinat a la cocció de ceràmiques el que Ribas havia interpretat com a tombes. Poc després, Prevosti (1981) examina totes aquestes dades, incloent-hi les que ella mateixa va consultar de l'arxiu de Ribas, i conclou que es tracta de les restes d'una *villa* romana d'època republicana que hauria estat ocupada fins a període alt-imperial.

Defaus i Martín (1989) tornen a documentar el jaciment durant les prospeccions fetes en l'itinerari del que seria la futura autovia de Mataró a Palafolls. L'any 1993 es

va dur a terme una primera prospecció del traçat de l'autopista de Mataró, on ja es contemplava una excavació arqueològica en els terrenys de Can Notxa, si bé no va poder ésser realitzada pel fet que els terrenys encara no havien estat expropiats i els propietaris no en donaren l'autorització (Carreras *et al.* 1994). En aquesta memòria es torna a fer esment de les restes del forn i es realitza una primera delimitació del jaciment.

Finalment, l'any 1994 s'iniciaren les excavacions que permeteren delimitar el jaciment dins de la zona afectada per la construcció del nou tram d'autopista entre Mataró i Granollers (Rigo 1996), per bé que en aquesta intervenció només es varen poder documentar les restes d'un forn. Precisament és d'aquesta intervenció d'on provenen els individus analitzats en aquest treball.

Les restes que varen ésser documentades corresponen a la part posterior de la cambra de combustió del forn (Rigo 1996: 26-29). En general, les estructures d'aquest forn no mostraven un bon estat de conservació en el moment de la seva excavació (Figura 11). El costat oest havia estat especialment arrasada i sols es conservava la part excavada en el terreny. Els estrats més immediats a la part est d'aquesta estructura, en canvi, varen proporcionar abundants restes de materials, bàsicament procedents d'abocaments, i que assolien més potència estratigràfica vers la banda est. Molt probablement, la planta del forn devia d'ésser rectangular o quadrada. Les estructures que es varen documentar presentaven unes mides de 4.60 m d'amplada i 4 m de llargada, per bé que la seva llargada total és desconeguda.

Tota l'estructura del forn estava excavada en el terreny i les parets que s'hi recolzaven estaven construïdes per tovots d'unes mides aproximades de 29.5 x 14.5 x 7.5 cm i que, per tant, semblen reflectir la utilització del peu romà com a unitat de referència —1 peu romà=29.5 cm (Buxó i Tremoleda 2002: 84). La cambra de combustió es trobava separada per un mur axial que la dividia longitudinalment en dues parts. En la zona central d'aquesta estructura hi havia una sola filera de maons a partir de la qual s'iniciava la paret, i a sobre d'aquesta s'iniciaven els arrencaments dels arcs que haurien d'haver sustentat la graella. Tant a les parets laterals com a la del fons, tot el retall es trobava recobert amb tovots sobre els quals es recolzaven els arrencaments dels arcs que, en aquest cas, s'aixecaven directament sobre el terreny sense que s'hi observés



la filera de tovots que es documentà al bell mig de l'estructura.



**Figura 11.** Superior: Restes de la graella del forn de Can Notxa. Inferior: Planimetria del forn de Can Notxa (A partir de Rigo 1996: Annex de plànols i diapositives).



L'alçada màxima que es va documentar era d'1.39 m, des de la part sud de la cendrera fins al punt més alt d'un arrencament d'arc, per bé que l'alçada màxima dels arrencaments d'arc era de 0.84 m. No es va documentar cap fragment de la graella ni tampoc cap dels arcs que l'havien de sustentar. L'únic que es va identificar varen ésser els arrencaments dels arcs; quatre al costat sud i al centre, mentre que al costat nord se'n conservaven tres, i el quart només parcialment (Figura 12).



**Figura 12.** Detall de dos arrencaments d'arc del forn de Can Notxa (A partir de Rigo 1996: Annex de diapositives).

A partir de les característiques estructurals documentades, el forn ha estat classificat tipològicament com a tipus IIc de Cuomo (1972), o com a tipus IIF de Le Ny (1988). Els paral·lels més propers es poden trobar en el jaciment de la *villa* de Can Feu, a Sant Quize del Vallès (Carbonell i Folch 1998: 289, Figura 3). Les mesures del forn de Can Notxa el situen dins del que es pot considerar com un forn de grans dimensions,

emprats, normalment, per a la cocció de grans contenidors com àmfors i *dolia*. En el jaciment de Mas Manolo, localitzat en el municipi de Caldes de Montbui, varen ésser documentades diverses estructures corresponents també a forns de cocció de ceràmiques i que degueren funcionar en un període similar al de Can Notxa. En aquest cas, tanmateix, tots els indicis fan pensar en que es tracta d'unes estructures a on s'haurien cuit ceràmiques comunes i no pas envasos amforals, havent-hi un forn molt ben conservat que tipològicament també s'ha classificat com a tipus IIc de Cuomo, però que presenta unes dimensions (2.94 x 2.67 m) clarament més petites que les del forn de Can Notxa o que els de Can Feu (Barrasetas i Monleón 1994).

Pel que respecta a la seva situació, sembla que l'orientació s'adapta a la configuració topogràfica del terreny; el *praefurnium* s'hauria de situar a l'oest, costat des del qual el nivell del terreny seria més baix, doncs el terreny faria pendent en el moment de funcionament del forn, d'est a oest i, per tant, seria el costat des del qual resultaria més fàcil accedir a la cambra de foc subterrània —o parcialment subterrània.

A pocs metres de les estructures del forn es varen documentar estrats d'un possible abocador, el material ceràmic dels quals estava format, gairebé de manera exclusiva, per fragments d'àmfora del tipus Laietana 1/Tarraconense 1 i, en menor proporció, per fragments de *dolia*. En la Figura 13 es pot observar un dels individus amforals recuperats en aquesta excavació<sup>20</sup>. L'arqueòleg responsable de l'excavació considera que aquestes serien les produccions del forn de Can Notxa, al menys pel que respecta al seu període d'activitat inicial. El fet que la major part de les restes de l'abocador corresponen al tipus Laietana 1/Tarraconense 1, junt a la presència de fragments de ceràmiques de parets fines del tipus Mayet III, així com per fragments del que s'interpreta com a ceràmica Campaniana B, present en els estrats superiors com a material residual, i l'absència del tipus Pascual 1, són els principals indicis per a proposar una cronologia inicial d'aquest estrat i, per extensió, de la construcció del forn, de devers mitjan segle I aC (Rigo 1996: 23-24).

---

<sup>20</sup> Aquest individu és un dels analitzats en el marc d'aquesta tesi, referenciat com a NTX005.

Contràriament del que ocorre amb la seqüència estratigràfica del període inicial, l'autor constata una estratigrafia clara que permet la datació de l'abandonament del forn a partir dels estrats que l'amortitzen. Els materials que es documenten en aquests estrats d'amortització corresponen bàsicament a fragments de ceràmica comuna romana, per bé que també se'n documenten de material de construcció, ceràmica comuna africana —entre les quals s'identifica una vora del tipus Òstia I i dues possibles olletes del tipus Hayes 200—, *terra sigillata* sud-gàl·lica i *terra sigillata* africana C. A partir d'aquest darrer fragment i dels ja esmentats de comuna africana es proposa per a l'amortització del forn una datació aproximada de devers la segona meitat del segle III dC.



**Figura 13.** Àmfora del tipus Laietana 1/Tarraconense 1 documentada a Can Notxa (A patir de Rigo 1996: Annex de diapositives).

En la terrassa superior al nivell del forn (Figura 11, superior) es va documentar, immediatament per sota del superficial, un estrat d'enderroc amb gran quantitat de material constructiu, especialment fragments de *tegulae*. Junt al material constructiu també es documentaren fragments d'àmfora dels tipus Laietana 1/Tarraconense 1, Pascual 1 i Dressel 2-4, de suposada provinença tarraconense, així com altres fragments d'àmfora bètica, amb una vora del tipus Pelichet 46, àmfora itàlica —sense especificar-ne el tipus—, ceràmica comuna ibèrica, romana, itàlica i africana, Campaniana B, parets fines, *terra sigillata* sud-gàl·lica representada pel tipus Drag.36, i tres fragments d'una mateixa peça de producció comuna que l'autor interpreta com a una imitació de *terra sigillata* sud-gàl·lica del tipus Lamb.1. A partir d'aquest material es proposa que l'estrat s'hauria format en una cronologia aproximada de finals del segle I dC. L'estrat immediatament per sota d'aquest, i que s'estén per tot la zona del forn, estava format bàsicament, pel que respecta al material ceràmic, per fragments de *tegulae* i *imbrices*, àmfores dels tipus Laietana 1/Tarraconense 1, Pascual 1, Dressel 2-4, àmfora itàlica —sense especificar-ne el tipus—, ceràmica comuna ibèrica, romana i itàlica, del tipus Bastit B-9, parets fines, Campaniana B, entre la que s'identifica el tipus Lamb. 5-7, i *terra sigillata* itàlica representada pel tipus Goud.24; material a partir del qual es proposa una cronologia del període augustal. Finalment, en l'estrat inferior, interpretat com a un possible abocador d'àmfores del tipus Laietana 1/Tarraconense 1, es documenten també fragments de ceràmica comuna ibèrica, itàlica, romana i de parets fines del tipus Mayet III, materials que suggereixen una cronologia hipotètica de mitjan segle I aC (Rigo 1996: 24).

En resum, el jaciment de Can Notxa es troba en una zona —la vall d'Argentona— que, molt probablement, per les possibilitats que ofereix per a l'explotació agrícola, el fet d'ésser una via de comunicació natural entre la costa i l'interior del territori, junt a la seva proximitat amb Burriac i *Iluro*, fou ocupada des d'època ibèrica tardana i durant època romana, com així ho palesa el gran nombre de jaciments coneguts (Ruestes 2002). L'excavació que pretenia delimitar el jaciment de Can Notxa va permetre documentar les restes estructurals d'un forn i diversos estrats d'abocaments d'àmfores que permeten pensar en una producció local del tipus Laietana 1/Tarraconense 1. En la terrassa superior al forn, així mateix, també foren documentats

diversos fragments dels tipus Pascual 1 i Dressel 2-4, però que no varen ésser considerats com a possibles produccions locals. De la lectura de la memòria arqueològica es desprèn que els criteris de l'arqueòleg per a considerar una producció com de possible origen local són el criteri d'abundància (Rice 1987)<sup>21</sup> i el fet que els fragments d'un determinat tipus presentin evidències d'ésser rebuigs de cocció (Rigo 1996: 25-29, 60). No obstant, aquest autor també fa constar que, donat l'estat de conservació del jaciment i de l'exigüïtat de l'àrea excavada, no es pot forçar l'argument *ex silentio* i excloure la possibilitat que s'haguéssin fabricat, en algun moment, els tipus Pascual 1 i/o Dressel 2-4, ja que els estrats d'abocament podrien haver desaparegut o, simplement, trobar-se en un indret a on no s'ha intervingut arqueològicament. Així doncs, Rigo (1996) interpreta que es tractaria d'un forn que s'hauria fet servir, des de mitjan segle I aC, per a la cocció d'àmfores del tipus Laietana 1/Tarraconense 1 i de *dolia*, i que es mantindria en funcionament fins a la segona meitat del segle III dC, si bé es desconeix quina seria l'activitat entre aquestes dues produccions. Per aquest motiu, i si el forn es va mantenir en actiu, caldria valorar la possibilitat que s'haguessin produït els tipus Pascual 1 i/o Dressel 2-4 en el centre productor de Can Notxa. En aquest sentit, són interessants les aportacions de Piqué (1996) en el seu informe de l'anàlisi antracològica d'una mostra de 71 fragments de fusta carbonitzada procedents dels estrats de l'últim moment d'utilització del forn. L'autora pretén, així, fer un petit esbós del paisatge arbori i arbustiu de la zona immediata al taller de Can Notxa en el segle III dC. Els resultats de les anàlisis antracològiques permeten identificar els taxons de pi blanc (*Pinus halapensis*) i de bruc (*Erica sp.*), el que és interpretat com un indicatiu de l'existència d'un paisatge degradat on la vegetació potencial estaria substituïda per formacions secundàries; les dues espècies identificades representarien clars exemples d'espècies colonitzadores dels espais degradats, l'extensió de les quals es veuria afavorida per la destrucció dels boscs propis de la terra baixa mediterrània, com

---

<sup>21</sup> En l'inventari que apareix a la memòria arqueològica (Rigo 1996) es fa referència a un total de 5 individus amforals del tipus Pascual 1, estimats a partir del que deduïm que és el criteri de nombre mínim d'individus, mentre que del tipus Laietana 1/Tarraconense 1 se n'inventarien un total de 30 individus estimats. Tanmateix, durant el mostreig que varem realitzar en els magatzems del SAM-Girona, on s'haurien de trobar dipositats aquests materials, només en varem poder localitzar un total de 5 individus de Laietana 1/Tarraconense 1 i 2 de Pascual 1, estimats en funció del criteri de nombre màxim d'individus.

l'alzinar i la sureda. Aquest fet podria estar relacionat amb una explotació continuada dels recursos forestals durant el període de funcionament del forn. En qualsevol cas, i sobrepasant els límits del centre productor de Can Notxa, cal tenir present que els centres productors d'àmfores podrien estar relacionats, no només amb una intensa explotació agrícola, sinó també amb una intensa explotació forestal del territori. Evidentment, seria molt interessant disposar de dades referents del període anterior i del moment inicial d'aquest procés, per tal de conèixer l'evolució del paisatge i avaluar-ne la seva significació històrica.

#### 5.2.2.1 *Individus caracteritzats*

Com ja hem dit en la nota al peu de la pàgina anterior, per bé que a l'inventari de la memòria d'aquesta excavació (Rigo 1996) s'inventarien un total de 30 individus amforals del tipus Laietana 1/Tarraconense 1 i 5 individus del tipus Pascual 1, a partir del criteri de nombre mínim d'individus, en el mostreig que va ésser realitzat entre els materials dipositats en els magatzems del Servei d'Atenció als Museus de Girona només es pogueren localitzar 5 individus del tipus Laietana 1/Tarraconense 1, estimats a partir del criteri de nombre màxim d'individus, i 2 individus del tipus Pascual 1. Així doncs, procedents d'aquest centre productor, han estat caracteritzats un total de 7 individus amforals, la referència dels quals apareix en la taula següent. Els dibuixos dels individus es presenten en l'Annex 2.

Referència	Tipus	Fragment analitzat	Context Arqueològic	Any d'excavació	Sigla
NTX001	P1	Vora	Terrassa superior. UE-16015	1994	CM-94-16015
NTX002 NTX003	L1/T1 P1	Vora Vora	Enderroc terrassa superior. UE-16002	1994	CM-94-16002 CM-94-16002
NTX004 NTX005 NTX006 NTX007	L1/T1 L1/T1 L1/T1 L1/T1	Vora Vora Vora Vora	Forn UE-16009	1994	CM-94-16009 CM-94-16009 CM-94-16009 CM-94-16009-3

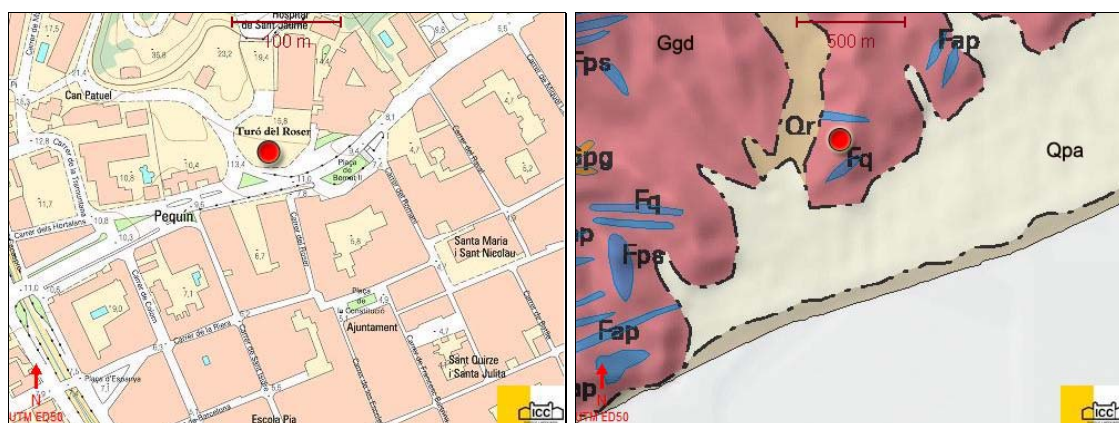
**Taula 4.2.** Quadre resum dels individus caracteritzats del centre productor de Can Notxa.



### 5.2.3 El centre productor d'El Mujal (Calella)

El jaciment d'època romana d'El Mujal, situat en el municipi de Calella, es localitza entre la riera de Calella i l'actual carretera d'Hortsavinyà. A dia d'avui es desconeixen quins serien els límits del jaciment, tanmateix sembla que les restes documentades en les diverses intervencions arqueològiques formarien part d'un mateix jaciment que, probablement, ocuparia la superfície de terreny limitada a l'oest per la riera de Calella, a l'est pel turó del Roser, al nord pels turons dels Pins, i al sud per la Mediterrània (Codex 2002; Defaus *et al.* 1988; López 1985, 1986).

En aquesta zona, les terres especialment fèrtils per al conreu són les arenas granítiques d'aportació al·luvial que avui dia ocupen una extensió més gran a la que ocupaven en època romana, durant el període de funcionament del taller, donat que les successives aportacions de terres per part de la Tordera, així com per les nombroses rieres presents a la zona, han fet recular la línia de costa mar endins. Igualment, aquest procés es podria haver vist afavorit per la tala d'arbres, la qual, com ja n'hem fet esment abans, podria ésser una activitat relacionada amb la de producció ceràmica. En qualsevol cas, sembla que se constata un fenomen de desforestació i la conseqüent degradació del terreny, així com el descens d'importantes masses de terra i de sauló vers



**Figura 14.** Localització del centre productor d'El Mujal sobre mapa topogràfic 1:5000 (esquerra) i geològic 1:50000 (dreta). **Fap:** Dics d'aplitès, pegmatites, leucogranits pòrfirs i pòrfirs leucogranítics; **Fps:** Filons de roques de composició de sienítica a monzonodiorítica; **Fq:** Filons de quars; **Ggd:** Granodiorites i granits alcalins; **Gpg:** Pòrfirs àcids; **Qpa:** Plana al·luvial, graves, sorres i lutites; **Qr:** Dipòsits dels llits actuals de les rieres i dels torrents.

la plana costanera.

Com ja hem dit en la síntesi del marc geològic general, el subsòl d'aquesta zona està format majoritàriament per roques plutòniques. En l'àrea més immediata al taller dins el radi d'un quilòmetre de distància es localitzen principalment granodiorites, granits alcalins i tonalites biotítics, travessades per filons de quars i dics d'aprites, pegmatites i leucogranits pòrfirs (Figura 14 dreta). Aquesta zona també és coneguda pels afloraments metal·lífers que sovint han esdevingut centres d'explotació minera, especialment durant època Medieval i Moderna. En aquest sentit cal destacar les mineralitzacions ferro-cupríferes a Hortsavinyà, Malgrat, Pineda i Sant Pere de Riu, les mineralitzacions cupríferes encaixonades en els granits d'Hortsavinyà i Tordera, les mineralitzacions ferruginoses a Malgrat, Pineda, Sant Genís de Palafolls i Santa Susanna, així com les mineralitzacions tipus Skarns a Hortsavinyà, essent les més explotades com a mines de coure.

Les primeres notícies que es tenen sobre l'existència de restes arqueològiques d'època romana en aquest indret daten de l'any 1947, quan es realitzaren les obres de la carretera N-II, responsables de la destrucció parcial de les restes d'una vil·la romana ubicada en el turó del Roser. El retall realitzat per a la construcció d'aquesta carretera també deixà al descobert diverses estructures, entre les quals en destacaven les restes d'un *lacus d'opus signinum* que mostrava una característica que també ha estat documentada en altres centres productors, com per exemple en el jaciment de Llafranc (Barti *et al.* 2004: 66; Caja 2000); els punts de contacte entre les parets i el paviment d'aquest espai presentava una secció de quart de cercle, a conseqüència d'haver portat el paviment fins a un parell de centímetres de la vertical de la paret (López 1986). Aquestes característiques junt a aquest tipus de paviment, de propietats impermeables (Adam 1996: 252), es podrien interpretar, des d'una perspectiva funcional, com una de les més adients per a ésser disposades en estances a on les activitats comportessin, per exemple, un maneig constant de líquids.

Amb posterioritat, devers finals de la dècada dels seixanta, es tingueren notícies del descobriment d'una quantitat indeterminada de fragments d'àmfora, arran de les obres efectuades en el club de tennis Toyca de Calella, en l'emplaçament dels actuals aparcaments Toyca, i dels quals es pogueren recuperar alguns fragments que foren



dipositats en el Museu-Arxiu de Calella (Codex 2002: 6).

Les primeres intervencions arqueològiques es varen realitzar l'any 1979. Aquestes foren realitzades per membres del Museu-Arxiu de Calella que, precisament, acabava d'ésser inaugurat. Poc després, entre els anys 1981 i 1982, les cales obertes varen ésser completades per les excavacions dirigides per López (1986). Malauradament, l'any 1984 varen ésser destruïdes gairebé totes les restes descobertes fins aleshores per causa de les obres del pla d'ampliació de l'Hospital Comarcal del Maresme que varen comportar un retall del terreny fins el nivell de la ja esmentada N-II. A partir d'aquests moments, el jaciment es donava per destruït completament. Tanmateix, un any després es tornaren a descobrir restes de fragments de ceràmiques i de murs, que quedaren al descobert a causa de l'acció de la pluja. Així, s'inicià una nova intervenció que va poder documentar un gran nombre de restes arquitectòniques —murs, *lacus*, paviments— que s'estenien per sota de l'N-II, i que foren cobertes de nou un cop finalitzat el permís d'excavació.

Per mor de les obres que havien de convertir la zona de l'antic club de tennis Toyca en un edifici d'apartaments, l'any 1988 es va realitzar una nova intervenció arqueològica (Defaus *et al.* 1988), de la qual provenen els materials analitzats en aquest treball. En la memòria d'aquesta intervenció ja es fa esment de la destrucció parcial de les restes arqueològiques d'aquesta zona pels rebaixos de fins a set metres de potència que varen ésser efectuats abans de la presència dels arqueòlegs responsables. En qualsevol cas, l'excavació realitzada va constatar l'existència d'importants nivells d'abocament de restes amforals dels tipus Laietana 1/Tarraconense 1, Pascual 1 i Dressel 2-4. De fet, El Mujal és el primer jaciment en el que es documenta un abocador del tipus Laietana 1/Tarraconense 1 sense la presència de fragments corresponents a altres tipus amforals. Amb posterioritat, s'haurien abocat restes de Pascual 1 i Dressel 2-4 i, en un tercera fase de l'abocador, només s'haurien limitat a la deposició de Dressel 2-4. D'aquest abocador prové el conjunt d'àmfores que hem analitzat en aquest treball. La major part del material ceràmic que es va documentar en aquest abocador corresponia a aquests tipus amforals, mentre que la presència de ceràmiques de fàbriques més fines era clarament inferior. En qualsevol cas, s'observa, malgrat tot, una preponderància de *terra sigillata* aretina en relació a la sud-gal·lica; les formes

identificades són Halt.1, Halt.2, Halt.7, Halt.8, Halt.15, Ritt.14 aretines, Drag.15/17 B, Drag.18 B, Drag.24/25 B i Ritt.9. Així mateix, també va ésser documentada una ceràmica de parets fines atribuïble al tipus Mayet XII. A partir d'aquest material, els autors infereixen una cronologia del període de Calígula o d'inicis del de Claudi per a aquest estrat d'abocament.

Pel que respecta a les restes estructurals del sector on es documentà l'abocador d'àmfores, es varen interpretar un total de quatre fases constructives diferenciades. La primera fase s'interpretà com a ibèrica, i es limitava a un parell de murs. La segona fase constructiva, interpretada ja com a d'època romana a partir de les restes ceràmiques, englobava tres murs, una canalització, un paviment, així com, possiblement, altres nous trams de mur (Defaus *et al.* 1988: 13-65). Un aspecte interessant d'aquesta fase és la factura dels murs, similar a la dels murs de la primera fase; a partir de carreus sense lligam de morter i, generalment, sense arrebossat o referit, freqüent en les solucions constructives de tradició íbera. La tercera fase constructiva és en realitat una entelèquia, ja que s'intueix, i en cap cas es constata, que hauria d'estar formada pel forn —per bé que els autors ho intueixen en plural—, no localitzat, l'abocador del qual seria el que tot just hem esmentat més a dalt. Finalment, la quarta fase estaria formada per dos murs molt malmesos. En conjunt, totes aquestes restes són interpretades com a part d'un complex relacionat amb les activitats d'elaboració o, més probablement, d'emmagatzematge de les àmfores fabricades, així com de l'envasat del vi a l'interior d'aquestes (Defaus *et al.* 1988).

Ja més recentment, a mitjan 2001 es tornaren a realitzar excavacions arqueològiques, també de caràcter preventiu per mor de les obres que es duïen a terme en el solar delimitat per la carretera d'Hortsavinyà, l'N-II i els apartaments Toyca. Aquestes semblen ésser, fins a dia d'avui, les darreres intervencions arqueològiques en el jaciment d'El Mujal. L'excavació es limità a alguns sondeigs i rases que permeteren constatar l'existència del que semblen les restes d'un gran edifici. Aquest presentava un mur de façana amb contraforts, de més de 30 m de llargada, 3 m d'alçada i 90 cm d'amplada. A pocs metres d'aquesta estructura, els mateixos sondeigs permeteren documentar dues estances amb parets arrebossades i restes de pintura, i evidències que els paviments haurien estat espoliats d'antic. En una de les estances també es documentà

la presència d'un paviment d'*opus signinum*. Tot aquest sector fou interpretat com a part del que hauria estat la *pars urbana* d'una *villa* romana (Codex 2002: 89-93). A pocs metres d'aquestes estructures es varen descobrir més estructures de murs, una llarga canalització i restes de paviment d'*opus signinum*, que fou interpretat com a part corresponent als dipòsits i a les instal·lacions industrials relacionades amb la producció i/o l'emmagatzematge de vi situades fora de l'edifici residencial. Igualment, també es va documentar un abocador d'àmfores format bàsicament per fragments dels tipus Pascual 1 i Dressel 2-4, que es relaciona amb el documentat en la campanya de 1988.

#### 5.2.3.1 *Individus caracteritzats*

El mostreig dels individus es va realitzar entre els materials dipositats en el magatzem del Servei d'Atenció als Museus de Girona (MAC-SAM). El criteri seguit inclou la representativitat del rang de fàbriques identificades macroscòpicament a ull nu entre els diferents dissenys formals. Així, procedents del centre productor d'El Mujal han estat caracteritzats un total de 60 individus amforals, recuperats tots ells durant la intervenció arqueològica realitzada l'any 1988 (Defaus *et al.* 1988). D'aquests, 32 s'identifiquen tipològicament amb el tipus Pascual 1 i els 28 restants amb el tipus Laietana 1/Tarraconense 1. La referència dels individus caracteritzats apareix en la taula següent. Els dibuixos dels individus es presenten en l'Annex 2.

Referència	Tipus	Fragment analitzat	Context Arqueològic	Any d'excavació	Sigla
MUJ001 MUJ002	P <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	Panxa Carena	UE-2011	1988	R88-2011 R88-2011
MUJ003 MUJ004	P <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	Coll (*) Coll	UE-2000 UE-2000	1988	R88-2000-1990 R88-2000
MUJ005 MUJ006 MUJ007 MUJ008 MUJ009 MUJ010 MUJ011 MUJ012 MUJ013 MUJ014 MUJ015 MUJ016 MUJ017	P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	Coll Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora	UE-2015	1988	R88-2015 R88-2015-904 R88-2015-708 R88-2015-755 R88-2015-717 R88-2015-823 R88-2015-699 R88-2015-760 R88-2015-903 R88-2015-715 R88-2015-672 R88-2015-674 R88-2015-887
MUJ018 MUJ019 MUJ020 MUJ021 MUJ022 MUJ023 MUJ024 MUJ025 MUJ026 MUJ027 MUJ028 MUJ029 MUJ030 MUJ031 MUJ032	P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora	UE-2011	1988	R88-2011-2910 R88-2011-2415 R88-2011-2498 R88-2011-2516 R88-2011-2526 R88-2011-2550 R88-2011-2564 R88-2011-2568? R88-2011-2573 R88-2011-2578 R88-2011-2619 R88-2011-2801 R88-2011-2811 R88-2011-2819 R88-2011-2863
MUJ033 MUJ034 MUJ035 MUJ036 MUJ037 MUJ038 MUJ039 MUJ040 MUJ041 MUJ042 MUJ043 MUJ044 MUJ045 MUJ046 MUJ047 MUJ048 MUJ049	L <sub>1</sub> /T <sub>1</sub> L <sub>1</sub> /T <sub>1</sub> L <sub>1</sub> /T <sub>1</sub> L <sub>1</sub> /T <sub>1</sub> L <sub>1</sub> /T <sub>1</sub> L <sub>1</sub> /T <sub>1</sub> L <sub>1</sub> /T <sub>1</sub> L <sub>1</sub> /T <sub>1</sub> L <sub>1</sub> /T <sub>1</sub> L <sub>1</sub> /T <sub>1</sub> L <sub>1</sub> /T <sub>1</sub> L <sub>1</sub> /T <sub>1</sub> L <sub>1</sub> /T <sub>1</sub> L <sub>1</sub> /T <sub>1</sub> L <sub>1</sub> /T <sub>1</sub> L <sub>1</sub> /T <sub>1</sub> L <sub>1</sub> /T <sub>1</sub>	Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora Vora	UE-2015	1988	R88-2015-202 R88-2015-210 R88-2015-211 R88-2015-213 R88-2015-217 R88-2015-219 R88-2015-224 R88-2015-225 R88-2015-228 R88-2015-229 R88-2015-230 R88-2015-234 R88-2015-236 R88-2015-238 R88-2015-249 R88-2015-256 R88-2015-257

Referència	Tipus	Fragment analitzat	Context Arqueològic	Any d'excavació	Sigla
MUJ050	L1/T1	Vora			R88-2015-259
MUJ051	L1/T1	Vora			R88-2015-260
MUJ052	L1/T1	Vora			R88-2015-262
MUJ053	L1/T1	Vora			R88-2015-265
MUJ054	L1/T1	Vora			R88-2015-273
MUJ055	L1/T1	Vora	UE-2015	1988	R88-2015-274
MUJ056	L1/T1	Vora			R88-2015-275
MUJ057	L1/T1	Vora			R88-2015-305
MUJ058	L1/T1	Vora			R88-2015-307
MUJ059	L1/T1	Vora			R88-2015-308
MUJ060	L1/T1	Vora			R88-2015-415

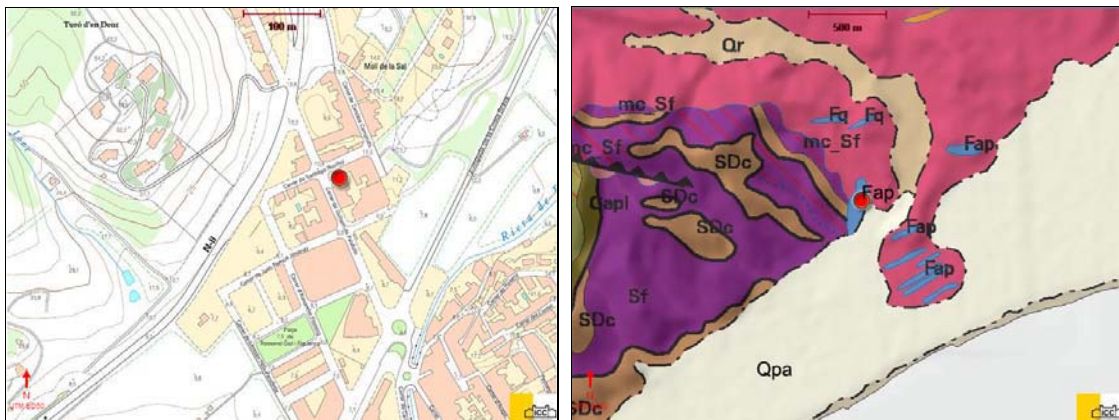
**Taula 4.3.** Quadre resum dels individus caracteritzats del centre productor d'El Mujal. (\*): marca HIL[ari].

#### 5.2.4 El centre productor del C/ de Guillem de Palafolls (Malgrat de Mar)

El municipi de Malgrat de Mar se situa en l'actual línia de costa a l'extrem més oriental de la comarca del Maresme, limitant amb la província de Girona i amb el riu Tordera com a partió. En aquest municipi es diferencien dos sectors. D'una banda es presenta una extensa plana que ocupa tota la franja litoral, d'aproximadament 800 m d'amplada, però que s'eixampla progressivament a mesura que s'aproxima a la Tordera. Aquesta plana fèrtil, que és denominada Pla de Grau, ocupa la meitat oriental del municipi, l'actual delta de la Tordera. Fins fa poques dècades, existien aiguamolls en alguns punts d'aquesta plana però foren dessecats amb la finalitat d'augmentar la superfície de conreu. Junt als al·luvions del riu, s'afegeixen els materials transportats pels torrents dels voltants. Els corrents marins arrosseguen part dels materials del delta de la Tordera i els dipositen més al sud, al llarg de l'actual línia de costa. L'altre sector diferenciat és el muntanyós, format per una alineació de turons que configuren el límit del terme. De tots aquests, el cim més alt correspon al de Montagut, d'aproximadament 215 m d'alçada, situat a l'extrem occidental del municipi. La resta dels turons mostren unes alçades progressivament menors a mesura que s'acosten al riu; Mas Aragall, Can

Palomeres, Mas Joer o Santa Rita, en són alguns exemples. En arribar a la costa, es presenta una plana baixa amb platges fins a arribar a la desembocadura de la Tordera, el delta del qual, igual que el del Llobregat, no estaria format en època romana (DD.AA. 2002).

Junt amb al batòlit de roques plutòniques propi de la serralada litoral, en aquesta zona també hi ha restes de la cobertura sedimentària que ha format turons com els esmentats de Montagut i Palomeres. Els granòfirs que afloren en la zona de Malgrat apareixen, en ocasions, travessats per dics pòrfirs que, per erosió diferencial, sobresurten del relleu, com seria el cas del turó del Castell, dins del nucli urbà de la població.



**Figura 15.** Localització del centre productor del C/ de Guillem de Palafolls sobre mapa topogràfic 1:5000 (esquerra) i geològic 1:50000 (dreta). **Capl:** Lidites i pissarres silíciques; **Fap:** Dics d'aplitites, pegmatites, leucogranits pòrfirs i pòrfirs leucogranítics; **Fq:** Filons de quars; **mc\_Sf:** Fil·lites i cornubianites, materials afectats per metamorfisme de contacte; **Qpa:** Plana al·luvial, graves, sorres i lutites; **Qr:** Dipòsits dels llits actuals de les rieres i dels torrents; **SDc:** Calcàries noduloses i pissarres sericítiques; **Sf:** Pissarres ampelítiques, fil·lites i sericites.

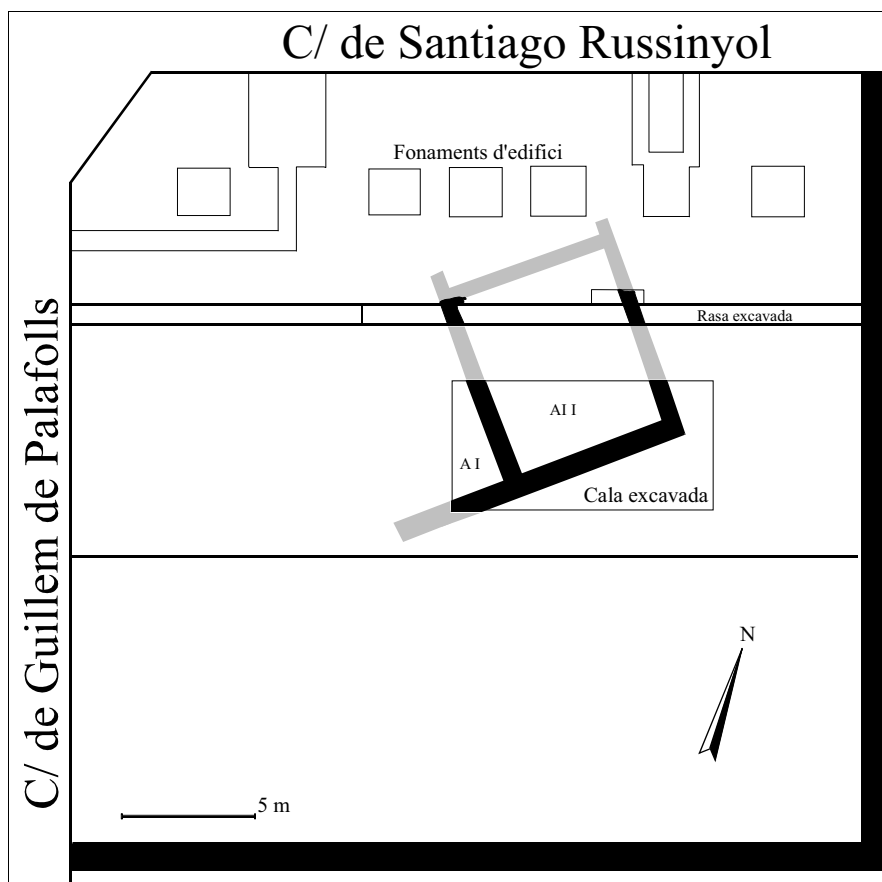
El jaciment que s'interpreta com un centre productor d'àmfores es localitza entre el turó de'n Dent i l'Avinguda de la Costa Brava, concretament en el subsòl dels números 40 i 42 de l'actual carrer de Guillem de Palafolls, en la confluència d'aquest i el carrer de Santiago Russinyol. El jaciment s'assenta sobre un dels dics d'aplitites, leucogranits i pòrfirs leucogranítics que afloren en aquesta zona. La geologia de l'àrea més immediata a aquest jaciment està configurada, a més, per filons de quars, de fil·lites i cornubianites, així com pels materials aportats per la riera de Palafolls de la qual n'està

distant 250 m. Així mateix, cal també ressenyar que, a menys de 50 m d'on es documentaren les restes del possible taller d'àmfores, apareixen afloraments de calcàries noduloses i de pissarres, materials emprats en la construcció d'algunes de les estructures romanes documentades en el jaciment (Burjachs i Casas *et al.* 1987: 224).

El jaciment del C/ de Guillem de Palafolls ha estat relacionat amb el jaciment proper de Can Viader (Burjachs *et al.* 1989) —del qual en dista 237 m en línia recta—, situat a la falda est del turó de la Creu, concretament en el subsòl dels números 19 i 21 de l'actual carrer de Sant Genís. Aquesta part del jaciment només està formada pel que s'interpretà com a restes d'un nivell de circulació pavimentat amb fragments de ceràmica, la majoria dels quals corresponen a àmfores dels tipus Dressel 2-4 i, en menor proporció, Pascual 1, així com també a alguns fragments de tovot, *tegula*, ceràmica comuna i *terra sigillata* aretina. En la memòria d'aquesta intervenció es conclou que l'abocament dels materials que conformen aquest possible camí s'hauria produït en un moment indeterminat en els inicis del funcionament de les estructures documentades en el solar proper del C/ de Guillem de Palafolls (Burjachs *et al.* 1982; Burjachs *et al.* 1989).

L'any 1983 es realitzà, en el solar dels números 40 i 42 d'aquest darrer carrer, una excavació d'urgència sobre una petita cala i una rasa (Figura 16) que permeteren documentar les restes d'unes estructures pertanyent a dos àmbits diferenciats. Del primer (AI) es conservaven dues parets que formaven una cantonada, una de les quals era mitjancera entre aquest i el segon àmbit (AII). En ambdós casos es tracta de murs de pedra seca a sobre dels quals s'aixecava una estructura de tàpia. Els materials ceràmics documentats en els nivells d'ocupació d'aquest primer àmbit —Pascual 1 i *terra sigillata* itàlica, adscrites al Servei I d'Haltern i variants del tipus Goud.17— proporcionen les cronologies més antigues, de finals del segle I aC. Per la seva banda, l'AII és un espai aparentment delimitat per quatre murs, els quals presentaven una estructura idèntica amb la del seu contraposat. A l'interior d'aquest àmbit també es va documentar un paviment d'argila, que havia estat retallat per a la col·locació d'un *dolium defossa*, a sobre del qual es varen trobar una gran quantitat de material d'ús domèstic, eines, carbons i una llar, situada en la cantonada on s'uneixen els murs d'aquest àmbit. L'estrat que cobria aquest nivell, i que encara no sobrepassava els murs,

va ésser datat d'un moment posterior als anys 13-15 dC, en funció dels fragments de *terra sigillata* Goud.37 i Goud.39 (Burjachs *et al.* 1987: 225). Seria a partir d'aquestes cronologies quan l'AII passa a ésser un espai d'abocador, en el qual hi abunden els fragments dels tipus Dressel 2-4 i, en menor quantitat, de Pascual 1. Com a element de datació d'aquests estrats apareixien les formes de *terra sigillata* sud-gàl·lica Drag.29 i un fragment de *terra sigillata marmorata*, a partir de les quals es va proposar una data d'abandonament de l'AII d'aproximadament mitjan segle I dC.



**Figura 16.** Planimetria de les estructures documentades en el jaciment del C/ de Guillem de Palafolls. A: Àmbit (A partir de Burjachs *et al.* 1987: 226).

Els tipus amforals documentats en aquest jaciment es corresponen als tipus



Pascual 1 i Dressel 2-4, del qual s'han diferenciat dues variants, bàsicament a partir de les variacions mètriques en la vora, el coll i l'espatlla. Així, Burjachs i col·laboradors (1987: 227) defineixen una variant com a Dressel 2-4 «petita» que es caracteritzarien per tenir un diàmetre de boca relativament menor, d'aproximadament 15 cm, un coll més cilíndric, el qual s'uniria a l'espatlla mitjançant una carena. D'altra banda, la variant denominada Dressel 2-4 «gran» es caracteritzaria per tenir un diàmetre de boca relativament major, d'entre 17 i 20 cm, amb un coll de forma troncocònica accentuada, amb l'extrem més ample a la part superior, i la unió entre coll i espatlla corbada sinuosament, sense carena (Burjachs *et al.* 1989: 57)<sup>22</sup>. Les nanses presenten la particularitat, que és recurrent en les dues variants de Dressel 2-4 d'aquest centre, de tenir una secció ovalada, amb una incisió longitudinal sols a la part externa, al contrari del que és freqüent en aquest disseny. Igualment, els pivots presenten un engruiximent a la punta per a tornar a estrènyer-se immediatament i acabar en una punta molt breu.

En resum, el jaciment del C/ de Guillem de Palafolls de Malgrat de Mar és interpretat com a un centre productor d'àmfores en funció d'un abocador, sense que se'n conegui cap resta d'estructura que es pugui associar a un forn per a la cocció de ceràmica. Les úniques estructures que es coneixen són les restes de tres murs i l'inici d'un quart, que haurien configurat dos àmbits diferenciats i que són amortitzats per grans dipòsits de terra amb abundants fragments d'àmfora. En aquest sentit, tant el tipus Pascual 1 com el Dressel 2-4, en la forma d'alguna de les dues variants definides, apareixen associats en tots els nivells de l'abocador, per bé que en els estrats superiors és clara la major freqüència de fragments atribuïbles al tipus Dressel 2-4 «gran». En els nivells més antics és major la freqüència de fragments atribuïbles als tipus Pascual 1 i Dressel 2-4 «petita». Immediatament per sobre d'aquests primers nivells d'abocament es documenten també fragments de *terra sigillata* itàlica Goud.17 que ofereixen una datació d'entre l'any 30 i els anys 15-12 aC. El primer nivell en què apareix la variant Dressel 2-4 «gran» és l'últim on hi ha material identificable com a Pascual 1 i Dressel 2-4 «petita». En aquest nivell apareixen, així mateix, abundants fragments de *terra*

---

<sup>22</sup> Alguns exemples de les variants definides per Burjachs i col·laboradors (1987, 1989) es poden veure en l'Annex 2 de Dibuixos. Exemples de Dressel 2-4 «gran» són, per exemple, els individus PLF022 i PLF023, mentre que un exemple de Dressel 2-4 «petita» el representa l'individu PLF015.

*sigillata* itàlica Goud.18 —datada de poc abans de l'any 12 aC—, de Goud.24 —datada d'entre l'any 12 i el 10 aC—, de Goud.26 —datada d'entre els anys 15-10 aC i 1-5 dC—, Goud.35 —datada d'entre els anys 15-10 aC i 1-5 dC—, i el tipus Goud.28 —datada de poc abans del primer terç del segle I dC. Així doncs, la fi de la producció de Pascual 1 i Dressel 2-4 «petita» es pot datar, com a molt tard, de l'any 5 dC i, com a molt antic, devers el 15 aC. El tipus Dressel 2-4 «gran» comença a estar representat amb gran quantitat de fragments a partir d'aquests mateixos moments, fins a la data que es proposa a partir de les ceràmiques itàliques del darrer nivell de l'abocador, que se situa entre el 13-15 fins el 30-40 dC (Burjachs *et al.* 1987: 225; 1989: 56-58).

#### 5.2.4.1 *Individus caracteritzats*

El mostreig dels individus procedents d'aquest centre es va realitzar entre els materials dipositats en el magatzem del Servei d'Atenció als Museus de Girona (MAC-SAM). El criteri seguit inclou la representativitat del rang de fàbriques identificades macroscòpicament a ull nu entre els diferents dissenys formals. Així, procedents del centre productor del C/ de Guillem de Palafolls de la localitat de Malgrat de Mar han estat caracteritzats un total de 32 individus amforals, recuperats tots ells durant la intervenció arqueològica practicada l'any 1983 (Defaus *et al.* 1988). D'aquests, 17 s'identifiquen tipològicament amb el tipus Pascual 1 i els 15 restants amb el tipus Dressel 2-4. La referència dels individus caracteritzats apareix en la taula següent. Els dibuixos dels individus es presenten en l'Annex 2.

Referència	Tipus	Fragment analitzat	Context Arqueològic	Any d'excavació	Sigla
PLF001 PLF002	P1 P1	Vora Vora	C/ de Guillem de Palafolls, nº 42. Zona B XIII	1983	GP42·B XIIIa GP42·B XIIIb
PLF003 PLF004 PLF005	P1 P1 P1	Nansa Nansa Nansa	C/ de Guillem de Palafolls, nº 42. Zona A-B 12, XIII. 25-IV-83	1983	GP42·A·B 12·XIII GP42·A·B 12·XIII GP42·A·B 12·XIII
PLF006 PLF007	P1 P1	Vora Vora	C/ de Guillem de Palafolls, nº 40-42. Nivell entre XI i nivell base (barrejat). Sector I. Zona B. 23-IV-83	1983	GP42·B XI GP42·B XI
PLF008 PLF009 PLF010 PLF011 PLF012 PLF013	P1 P1 P1 P1 P1 P1	Vora Vora Vora Vora Vora Vora	C/ de Guillem de Palafolls, nº 42. UE-2033 (A/B)	1983	GP42·2033·(A/B) GP42·2033·(A/B) GP42·2033·(A/B) GP42·2033·(A/B) GP42·2033·(A/B) GP42·2033·(A/B)
PLF014 PLF015 PLF016 PLF017	Dr 2-4 Dr 2-4 Dr 2-4 Dr 2-4	Vora Vora Vora Vora	C/ de Guillem de Palafolls, nº 42. UE-3034. Àmfores enganxades al mur (exterior). 17-IV-83	1983	GP42·3034 GP42·3034 GP42·3034 GP42·3034
PLF018	P1	Vora	C/ de Guillem de Palafolls, nº 42. P.M., C-3, 36	1983	GP42·PM·C-3, 36
PLF019 PLF020	P1 P1	Vora Vora	C/ de Guillem de Palafolls, nº 42. Zona AB-1-2, 1Xb	1983	GP42·AB·1-2·1Xb5 GP42·AB·1-2·1Xb7

Referència	Tipus	Fragment analitzat	Context Arqueològic	Any d'excavació	Sigla
PLF021	P1	Vora	C/ de Guillem de Palafolls, nº 42. Zona E-34, Xb	1983	GP42·E-34·Xb6
PLF022	Dr 2-4	Vora	C/ de Guillem de Palafolls, nº 42. Quadre E-1 (coordenades) Quadre E-F (1))	1983	GP42·Q-E1.Q-EFa
PLF023	Dr 2-4	Vora			GP42·Q-E1.Q-EFb
PLF024	Dr 2-4	Vora			GP42·Q-E1.Q-EFc
PLF025	Dr 2-4	Vora			GP42·Q-E1.Q-EFd
PLF026	Dr 2-4	Vora			GP42·Q-E1.Q-EFe
PLF027	Dr 2-4	Vora			GP42·Q-E1.Q-EFf
PLF028	Dr 2-4	Vora			GP42·Q-E1.Q-EFg
PLF029	Dr 2-4	Vora			GP42·Q-E1.Q-EFh
PLF030	Dr 2-4	Vora			GP42·Q-E1.Q-EFi
PLF031	Dr 2-4	Vora			GP42·Q-E1.Q-EFj
PLF032	Dr 2-4	Vora	GP42·Q-E1.Q-EFk		

**Taula 4.4.** Quadre resum dels individus caracteritzats del centre productor del C/ de Guillem de Palafolls.

### 5.2.5 El centre productor de Fenals (Lloret de Mar)

Aquest jaciment es troba dins de l'actual terme municipal de Lloret de Mar, en la façana marítima de la comarca de la Selva. El que es coneix actualment com a Platja de Fenals (Figura 17) pertany a la formació geològica de la serralada litoral que, com ja hem esmentat en repetides ocasions, està representada en la seva major part per un gran batòlit granític. En aquest zona, aquest sector granític, conegut amb la denominació de Marina de la Selva, configura un front amb esculls pel costat de la mar i amb diversos turons a l'interior —Montbarbat, Rossell, Montgròs. Fenals pertany, doncs, al bloc de Lloret, el qual està format per granit normal que s'altera amb relativa facilitat per mor de la meteorització del contingut feldspàtic. Junt amb aquest granit, dins l'àrea més immeditata al jaciment es troben filons d'altres roques ígnies, com ho serien els d'optites, aplites i pegmatites, leucogranits pòrfirs, filons de granòfirs, felsòfirs i microgranits. De fet, el caràcter abrupte del relleu es pot explicar, en part, per la presència de masses de felsòfirs, roques d'una relativa resistència a l'erosió i que, per tant, configuren el terreny sobresortint dels blocs granítics que les envolten (DD.AA. 2002: 191-196).



**Figura 17.** Localització del centre productor de Fenals sobre mapa topogràfic 1:5000 (esquerra) i geològic 1:50000 (dreta). **Fap:** Dics d'aprites, pegmatites, leucogranits pòrfirs i pòrfirs leucogranítics; **Fgfm:** Filons de granòfirs, felsòfirs i microgranits; **Qt1:** Terrassa fluvial, graves, sorres i lutites; **Qt0-1:** Llit actual, plana d'inundació ordinària i terrassa més baixa (0-2 m); **Qp:** Sediments de platja.

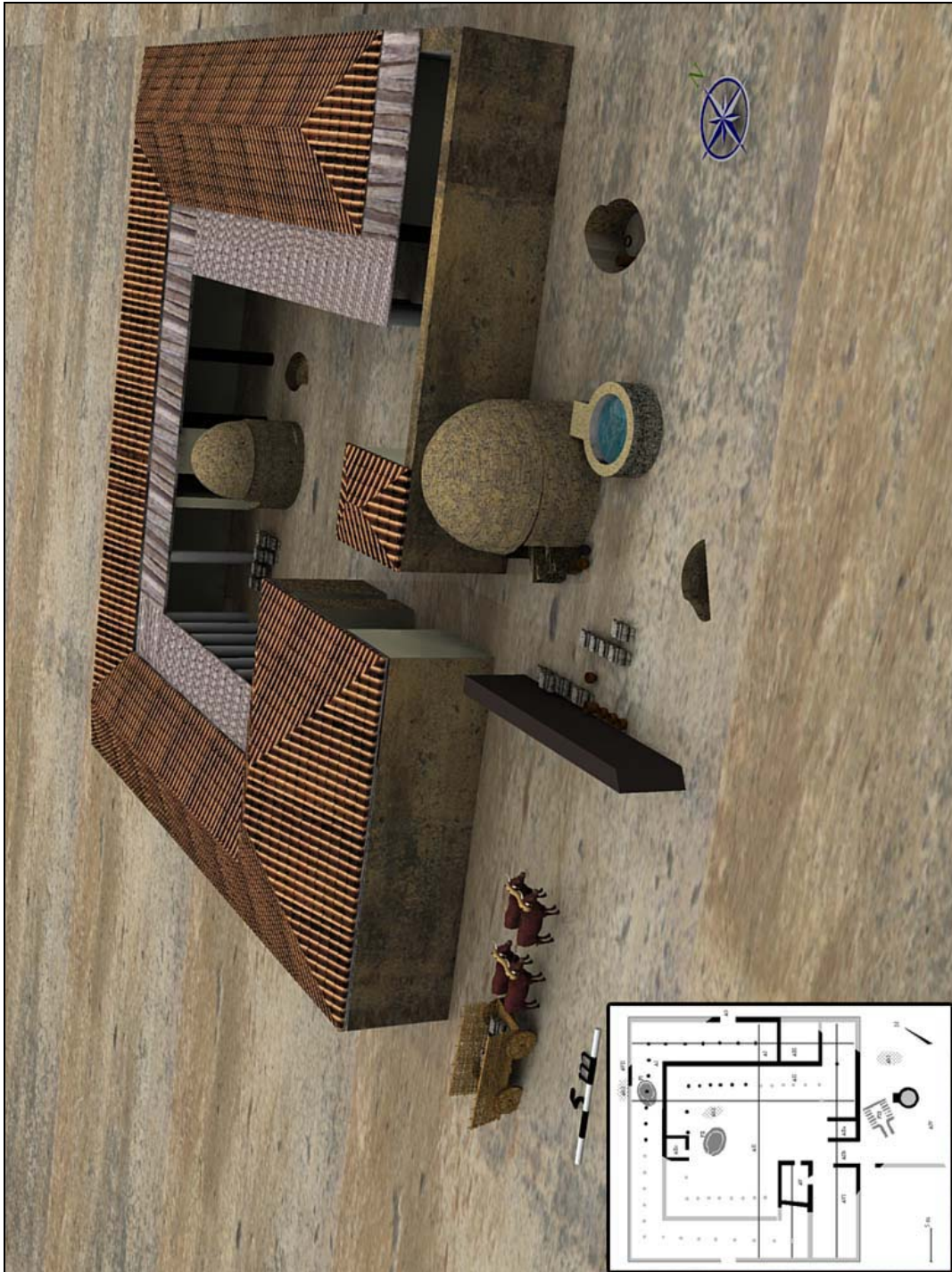
El jaciment del centre productor de Fenals (Buxí i Descamps 1990; Buxó i Tremoleda 2002) s'assenta sobre una antiga llacuna on anaven a parar les aigües que vessaven pels turons que envolten aquesta zona, i que limitava amb la mar mitjançant un cordó litoral de sorres. Com es pot observar en la Figura 17, l'antiga llacuna sobre la qual s'assentà el taller de Fenals rebia aigües de la riera de Passapera, el traçat de la qual ha estat modificat repetidament, des del seu punt d'origen en el cim de Pic Gros —d'una alçada de 285 m. Per mor de les característiques d'aquesta riera, sovint de torrent, que pot arrossegar quantitats considerables de materials detrítics i tenir un important cabal d'aigua, junt a les dificultats de sortida a la mar, en aquest indret s'han patit diverses inundacions al llarg de la seva història (Buxó i Tremoleda 2002: 33-34).

Les restes del jaciment de Fenals són clarament de més entitat que les documentades en les excavacions dels altres centres productors ja esmentats —l'àrea excavada és d'aproximadament 1250 m<sup>2</sup>. Aparentment, les restes d'aquest centre productor representarien les instal·lacions d'un gran complex productor ceràmic, que hauria funcionat aproximadament des dels darrers decennis del segle I aC fins als darrers vint o quinze anys del segle I dC.

Les primeres notícies publicades sobre l'existència de possibles restes arqueològiques d'època romana en aquesta zona són les facilitades per Domènech (1981) on fa esment de la descoberta causal, durant les obres realitzades per a la

instal·lació de canalitzacions d'aigua en el carrer de Francesc Layret —a pocs metres d'on es localitzaria el taller de Fenals—, d'una gran quantitat de fragments d'àmfores de tipologia romana —posteriorment identificades com a Pascual 1 i Dressel 2-4— i *dolia*, alguns de lluerns i de rajols, així com una possible moneda de Domicià de l'any 83 dC. Aquest autor, a partir del criteri d'abundància (Rice 1987) i de la constatació de fragments de ceràmica amb indicis d'ésser rebuigs de cocció, suggereix que el conjunt podria formar part de l'abocador d'un forn de ceràmiques. Tanmateix, no fou fins l'any 1984 quan s'iniciaren les primeres intervencions arqueològiques (Buxó i Descamps 1990), les quals recuperaren els individus que analitzarem en aquest treball. Aquestes intervencions es realitzaren amb caràcter d'urgència a causa de les obres de construcció, ja iniciades, de tres edificis en el solar delimitat pel carrer de Rio de la Plata, el carrer del Pla de Fenals, el carrer de Francesc Layret, i la riera de Passapera.

Les restes estructurals documentades en aquesta intervenció arqueològica varen ésser interpretades com a corresponents a dues fases diferenciades (Figura 18). La primera fase correspon als inicis de l'ocupació. D'aquesta fase en formarien part dues parets parcialment destruïdes, documentades a sota de l'habitació oberta en orientació NE a l'àmbit IIc. També d'aquesta primera fase d'ocupació són les restes d'un forn (FI), localitzat a sota dels pilars que sustentaven la part nord-occidental de l'àmbit I, pertanyent a la segona fase. Aquest forn es trobava completament ensorrat en el moment de la seva excavació, sense que s'hagin conservat ni les parets de la cambra de cocció ni la graella. El que s'ha constatat és l'existència d'un desnivell que suggereix que es tractaria d'una estructura de forn excavada en el terreny (Buxó i Tremoleda 2002: 78-79). Entre el material documentat en el nivell arqueològic relacionat amb aquest forn en destaquen els fragments d'àmfora —per bé que ni a la memòria de l'excavació (Buxó i Descamps 1990) ni a la recent publicació monogràfica sobre aquest jaciment (Buxó i Tremoleda 2002) se n'especifica la tipologia— i de material de construcció. Part dels rebuigs d'aquest forn serien els que haurien format l'abocador (Ab3), que es localitza al costat del mur que delimita l'àmbit VII. Dins d'aquest abocador, d'aproximadament 40 cm de potència, es varen recuperar fragments d'àmfora dels tipus Pascual 1 i Dressel 2-4, així com de *tegulae*, *imbrices*, ceràmica comuna, i de parets fines.



**Figura 18.** Restitució hipotètica de la planta del centre productor de Fenals. **A:** Àmbit; **F:** Forn; **Ab:** Abocador.



Poc després de l'inici de l'ocupació d'aquest àmbit es varen realitzar diverses remodelacions i s'amplià tot l'espai, el qual es correspon a la segona fase del taller. D'aquesta segona fase en formen part la major part de les estructures documentades en l'excavació, les quals representen el període de major activitat productiva d'aquest centre. A partir d'aquests moments, els murs que configuraven la primera fase d'ocupació són enderrocats i a sobre es construeixen les parets de la nova fase. Igualment, el forn (FI) tampoc es tornarà a utilitzar per a la cocció de ceràmiques després de l'ampliació del recinte; un cop enderrocats s'anivella el terreny i l'espai passa a ésser ocupat per la nau de l'àmbit I. En qualsevol cas, les noves estructures no trenquen amb la uniformitat de l'estratigrafia, car els paraments i les trinxeres de fonamentació s'adeqüen sobre el mateix nivell d'ocupació anterior.

Com pot ésser observat en la Figura 18, el complex arquitectònic del centre productor de Fenals s'estructura amb un pati central descobert amb pòrtic, al voltant del qual es distribueixen diversos espais diferenciats; des de llargues naus cobertes a doble vessant fins a àmbits de dimensions més reduïdes. La hipotètica amplada total de l'edifici, de nord a sud, era d'aproximadament 36.60 m. Per tant, assumint que un peu romà equival a 29.5 centímetres, l'amplada de l'edifici era d'aproximadament 124 peus. Per la seva banda, el pati central mostra unes dimensions de 100 peus, sense l'amplada de la nau coberta, d'aproximadament 20 peus —els quatre peus restants correspondrien a l'amplada dels murs (Buxó i Tremoleda 2002: 83-84).

El nivell documentat a l'àmbit 0 corresponia exclusivament a l'enderroc de la teulada de l'edifici. D'altra banda, l'àmbit 1 conforma tota la nau que envolta el recinte, i que es troba separada de la part central per diversos murs, la major part dels quals han conservat dues filades de carreus de granit, a excepció feta del mur que tanca el recinte central pel nord-oest que té la particularitat d'haver-ne conservat cinc. El sistema constructiu que es va seguir en la construcció és el mateix en totes les estructures del recinte; primer s'aconsegueix l'anivellació del terreny mitjançant una aportació de terra i, en funció del desnivell del sòl, s'hi construeix el mur amb més o menys filades de pedra. Les filades de les parets es construïren amb pedra seca —tot i que en casos puntuals s'ha observat l'ús d'argamassa—, que se separaven de la filada inferior mitjançant una filada de fragments de ceràmica —*tegulae* i àmfores. A sobre d'aquestes



filades hi deuria d'anar la paret de tàpia fins a arribar a la teulada que, en el cas d'aquest àmbit, seria una coberta a doble vessant. El sosteniment d'aquesta coberta es basa en un sistema de quinze pilars amb dos tipus de basaments diferenciats; d'una banda els formats per blocs de pedra calcària i granits, de forma circular i quadrada (d'aproximadament 50 x 50 cm), i, d'altra, els format amb fragments de *tegulae* lligats amb morter, d'unes mides i formes similars als anteriors.

L'àmbit II es correspon al pati interior porticat amb coberta d'una vessant, d'una superfície estimada de devers 600 m<sup>2</sup> (Buxó i Tremoleda 2002: 65). Aquest pati limita al nord-est i nord-oest pels murs que configuren l'àmbit I, al sud i sud-est per l'àmbit IIb, que seria un dels accessos al recinte, al costat del qual es situa una petita dependència que correspon a l'àmbit IIa, i al costat oest pel marge que marca el límit de l'àrea excavada. En la zona del pòrtic es va constatar la presència d'un dipòsit d'argiles vermelles junt a restes de carbons i cendres, resultat dels abocaments procedents, probablement, de la neteja del forn situat en aquest àmbit (FII). Aquest seria un forn de petites dimensions, de planta circular, i del qual només es pogueren documentar les restes enderrocades de la graella i de les parets de les cambres de combustió i de coccio. A poc més d'un metre de distància es localitzaria l'abocador (Ab2) a l'interior del qual es trobaren fragments d'àmfores dels tipus Pascual 1 i Dressel 2-4, així com de materials de construcció i de ceràmica comuna —tassons, gerres, olles, olletes i plats. Més al sud-oest, en la mateixa zona del pòrtic, entre el pati i la paret més meridional de l'àmbit III, es va documentar un espai de planta rectangular de 10 m de llargada, format per una alineació de vint pivots d'àmfora. S'ha interpretat que aquesta alineació hauria funcionat de basament per a sostenir una possible coberta d'encanyissat.

A l'extrem sud-oriental de la zona excavada, fora ja del recinte porticat, es localitza l'àmbit IV on també hi aparagueren diverses estructures. A la banda sud hi aparegué part d'un mur, alineat amb la paret del costat oest de l'accés al recinte (AIIb), que sols conservava una filada de carreus, per bé que només va se'n varen poder excavar alguns centímetres del costat longitudinal, ja que continuava més enllà dels límits de l'excavació. En qualsevol cas, aquest mur sembla que delimitaria un espai diferenciat de l'àmbit IV. En aquest àmbit es troba l'altre forn corresponent a la segona fase d'activitat del centre (FIII), la construcció del qual es va realitzar retallant el

terreny natural. L'estructura d'aquest forn també es va trobar completament enderrocada. En el seu interior hi havia les restes de la graella i de la cambra de cocció junt a diversos fragments de ceràmica —àmfores, *tegualae*, *imbrices* i comuna—, tot cobert per un nivell de cendres i argiles. Aquests mateixos materials són els que formaven l'abocador situat a pocs metres de distància (Ab1), junt a fragments de ceràmiques de parets fines i ceràmica grisa lobulada. Finalment, en aquest àmbit també es va documentar una estructura de planta circular, d'aproximadament 3 m de diàmetre, construïda amb predres sense lligam d'argamassa, amb l'interior enllosat, i excavada parcialment en el terreny. Buxó i Tremoleda (2002: 78) interpreten que es tractaria d'una bassa per a la decantació de l'argila emprada en la confecció de les ceràmiques produïdes en aquest taller.

En tots els àmbits esmentats, l'amplada dels murs no sobrepassa els 80 cm i les filades de pedra no visibles no solen presentar més amplada que l'alçat del mur. En els pocs casos on això es va poder documentar va permetre suggerir quin hauria estat el nivell de circulació, per bé que no s'hagi documentat, en tot el jaciment, cap resta de paviment, tret del sòl de terra batuda.

En definitiva, en el centre productor de Fenals s'iniciaria una activitat de producció de ceràmiques entre els anys 15-20 aC, la qual es mantindria fins als darrers quinze o vint anys del segle I dC. Al llarg d'aquest període d'activitat, les produccions majoritàries semblen haver estat els tipus amforals Pascual 1 i, des dels darrers anys del segle I aC i els primers del segle I dC, el tipus Dressel 2-4. Així mateix, també s'haurien produït diversos tipus de ceràmica comuna, així com materials de construcció. Igualment, també es planteja la possible presència d'alguns fragments del tipus amforals Laietana 1/Tarraconense 1, així com d'una possible variant d'aquest tipus; la denominada Tarraconense 2/Fenals 1, definida per primera vegada per Tremoleda (2000: 117-118).

Abans de finalitzar amb aquest apartat volem plantejar una sèrie de consideracions respecte a aquest darrer aspecte; la definició de tipus. Primer de tot s'ha de considerar el fet que no s'han proposat explicacions satisfactòries sobre les causes subjacents als canvis de disseny que es donen en la producció amforal que representa el nostre cas d'estudi; o al menys no s'han proposat explicacions que estiguin recolzades

per un cos teòric que les justifiqui. Una segona qüestió, lligada a la primera, és el fet que l'establiment de tipologies, i la constant definició de nous tipus, s'ha realitzat sobre les bases del que s'ha denominat mètode heurístic, un dels principals inconvenients del qual és la impossibilitat d'establir de manera contrastable la variabilitat formal que pot ésser acceptada dins d'un tipus determinat (Vila i Buxeda 2005: 12-13). Així doncs, des de la nostra perspectiva, el fet d'elevat a la categoria de tipus generalitzat un disseny amforal específic s'hauria de justificar mitjançant una proposta explicativa de les possibles interaccions entre aquesta tecnologia i les persones amb què estigueren en contacte al llarg de la seva cadena de comportament (Skibo i Schiffer 2001: 141-142), i no exclusivament amb les de la darrera fase d'aquesta —principalment, les que participen del seu estudi arqueològic. Suposa això que la definició de tipologies no serveix per res? En absolut, d'entrada suposen una eina heurística important per a poder desenvolupar la recerca, en tant que permeten focalitzar, de manera més o menys precisa, l'objecte d'estudi. I diem de manera més o menys precisa no sols pels inconvenients que acabem de mencionar referents a la definició de tipologies, sinó perquè no hi ha cap indicatiu que aquestes distincions es corresponguin a les que es poguren haver fet en el passat. Ara bé, en qualsevol cas, sembla important tenir present les limitacions d'aquest procediment a l'hora de realitzar inferències sobre les interaccions entre persones i tecnologies. Creiem que l'aplicació de l'Arqueometria, com esperem que quedi ben palès al final d'aquesta tesi, en pot fer una aportació vàlida en aquest sentit. En el Capítol 8 tornarem a abordar aquests plantejaments.

#### 5.2.5.1 *Individus caracteritzats*

Procedents del centre productor de Fenals han estat caracteritzats un total de 51 individus amforals, seleccionats pels arqueòlegs responsables dels materials recuperats durant la intervenció de l'any 1984 (Buxó i Descamps 1990). D'aquests, 35 han estat identificats tipològicament amb el tipus Pascual 1 i els 16 restants amb el tipus Dressel 2-4. La referència dels individus caracteritzats apareix en la taula següent. Els dibuixos dels individus es presenten en l'Annex 2.

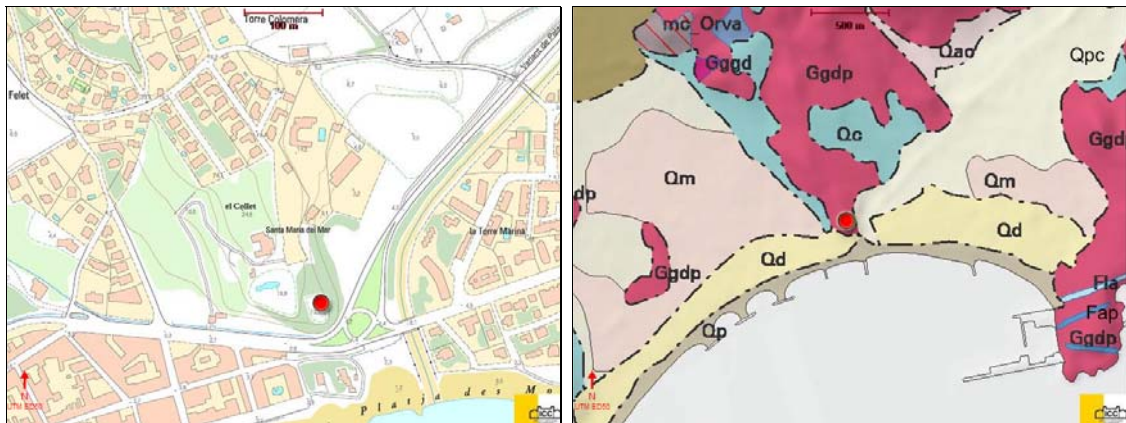
Referència	Tipus	Fragment analitzat	Context Arqueològic	Any d'excavació	Sigla
FEN001	P1	Nansa	Àmbit 0	1984	-
FEN002	P1	Pivot			-
FEN003	P1	Pivot			-
FEN004	P1	Nansa	Àmbit II	1984	-
FEN005	P1	Nansa			-
FEN006	P1	Nansa			-
FEN007	P1	Vora	Àmbit III	1984	-
FEN008	P1	Vora			-
FEN009	P1	Vora			-
FEN010	P1	Vora			-
FEN011	P1	Vora			-
FEN012	P1	Vora			-
FEN013	P1	Vora			-
FEN014	P1	Nansa			-
FEN015	P1	Vora	Àmbit IV	1984	-
FEN016	P1	Vora			-
FEN017	P1	Vora			-
FEN018	P1	Vora			-
FEN019	P1	Vora			-
FEN020	P1	Vora			-
FEN021	P1	Vora			-
FEN022	P1	Vora			-
FEN023	P1	Vora			-
FEN024	P1	Vora			-
FEN025	P1	Vora			-
FEN026	P1	Vora			-
FEN027	P1	Vora			-
FEN028	P1	Vora			-
FEN029	P1	Vora			-
FEN030	P1	Vora			-
FEN031	P1	Vora			-
FEN032	P1	Vora			-
FEN033	P1	Pivot			-
FEN034	P1	Pivot			-
FEN035	P1	Nansa	-		
FEN036	Dr 2-4	Vora	Àmbit trinxera	1984	-
FEN037	Dr 2-4	Vora			-
FEN038	Dr 2-4	Vora			-
FEN039	Dr 2-4	Vora			-
FEN040	Dr 2-4	Vora			-
FEN041	Dr 2-4	Vora			-
FEN042	Dr 2-4	Vora			-
FEN043	Dr 2-4	Vora			-
FEN044	Dr 2-4	Vora	-		
FEN045	Dr 2-4	Vora	Àmbit III	1984	-
FEN046	Dr 2-4	Vora			-
FEN047	Dr 2-4	Vora			-
FEN048	Dr 2-4	Nansa	Àmbit IV	1984	-
FEN049	Dr 2-4	Nansa			-
FEN050	Dr 2-4	Nansa			-
FEN051	Dr 2-4	Nansa			-

Taula 4.5. Quadre resum dels individus caracteritzats del centre productor de Fenals.

### 5.2.6 El centre productor del Collet de Sant Antoni de Calonge (Calonge)

Les restes arqueològiques del centre productor del Collet de Sant Antoni es troben dins del municipi de Calonge, molt a prop del límit amb el terme de Palamós, concretament en la part central del sector nord de la finca anomenada Collet-est, a poc més de cent metres de l'actual línia de costa que marca la platja des Monestir. El jaciment s'estén al llarg de tot el vessant est del turó del Collet, un dels darrers contraforts de les Gavarres, en el qual també han estat documentades restes d'una *villa* romana establerta durant el principat d'August, i d'un convent de monges benedictines establert el segle XII; el de Santa Maria del Mar (Nolla i Santamaría 2001; Nolla *et al.* 2002).

L'àrea més immediata al jaciment està dominada per granodiorites i granits, pertanyent al batòlit de la serralada litoral, la desagregació de les quals ha format els dipòsits col·luvials que es situen en els seus marges. La línia de costa existent durant el període de funcionament del taller està marcada pels límits interiors dels cordons de dunes litorals, situats a l'interior de l'actual sediment de platja. En aquesta zona també hi abunden els dipòsits al·luvials, d'argiles, llims, sorres matèria orgànica i sal.



**Figura 19.** Localització del centre productor del Collet de Sant Antoni de Calonge sobre mapa topogràfic 1:5000 (esquerra) i geològic 1:50000 (dreta). **Fap:** Dics d'aplitites, pegmatites, leucogranits porfírics i porfírics leucogranítics; **Fla:** Filons de lampròfirs; **Ggdp:** Granodiorites porfíriques; **Gggd:** Granits i granodiorites; **mc\_Orva:** Cornianes, esquists i fil·lites pigallades; **Qao:** Dipòsits al·luvials, argiles i còdols dispersos; **Qc:** Dipòsits col·luvials; **Qd:** Cordons de dunes litorals; **Qm:** Maresmes. Llims, sorres, matèria orgànica i sal; **Qp:** Sediments de platja; **Qpc:** Argiles i sorres palustres.

El jaciment arqueològic del Collet de Sant Antoni és conegut d'antic. Les notícies històriques que fan referència a les restes de la *villa* situada en el turó són recurrents des del segle XIX. Les primeres dades publicades són les proporcionades per l'historiador Pella (1883) qui assenyala l'existència, en el cim del turó, d'un paviment de mosaic de tesselles blanques i negres, així com de part del que hauria estat un aqüeducte que, orientat de nord a sud, hauria facilitat el transport cap a la *villa* de l'aigua captada en el cim més immediat al Collet. També esmenta la presència d'abundants fragments de *tegulae* i l'existència, a la meitat del tram de l'aqüeducte, d'una obra de pedra seca que interpretà com una part d'aquell. Aquestes mateixes referències són repetides per Botet (sense data), on també esmenta el trasllat d'una part del mosaic al Museu de Girona —actualment el Museu d'Arqueologia de Catalunya-Girona—, notícia que serà confirmada posteriorment per Oliva (1950). L'any 1897, durant les obres realitzades en la construcció de la carretera de Sant Feliu de Guíxols a Palamós, es va identificar un important dipòsit de bronzes —format per un bust trifacial, dues balances *estatera*, un vas còncav amb peu, un plat oval decorat, una gerra, dues nanses decorades, una cadeneta, una caldera de coure, una gerra i quatre lingots de bronze i coure— que fou lliurat a l'esmentat Museu de Girona i que, posteriorment, seria revisat per Palol (1950). Aquest autor visità també el jaciment del Collet i constatà que en aquells moments ja no es veien més que les restes d'una conducció d'aigua en forma de canal situada arran de terra —sense les arcades típiques dels aqüeductes romans—, recobert d'*opus testaceum*, així com d'abundants fragments de *tegulae* i alguns de *terra sigillata*. A partir de les cronologies atribuïdes al conjunt de bronzes s'interpretà que aquest assentament tindria continuïtat, com a mínim, fins al segle VII. A partir d'aquest període se'n desconeix qualsevol indicatiu d'ocupació fins el segle XII, quan apareix la primera referència al convent de monges benedictines de Santa Maria del Mar. Sobre el dipòsit de bronzes en torna a fer esment Badia (1977: 125) qui el relaciona amb la *villa* romana del Collet. També assenyala l'existència en aquest jaciment de *dolia* sencers conservats *in situ* i de fragments de pintura mural romana. Totes aquestes notícies seran recollides posteriorment per Nolla i Nieto (1978) i per Nolla i Casas (1984).

Les campanyes d'excavacions arqueològiques al Collet de Sant Antoni

començaren a finals de l'any 2000. Aquestes consistiren en l'obertura d'un total de vint-i-una rases mitjançant una pala excavadora amb la intenció, en un primer moment, de delimitar el jaciment i, posteriorment, realitzar sondeigs estratigràfics (Nolla *et al.* 2002: 202-207). En aquest cas, les actuacions es varen centrar en la zona més septentrional del Collet, on es localitzen les restes de la *villa*. Tanmateix foren les rases de la terrassa del vessant sud les que proporcionaren més estructures i material arqueològic. Pel que respecta a les d'època romana en destaquen varies estructures de murs que definien diversos àmbits i que marcaven fases d'ocupació diferenciades. De la primera fase en formaria part una estructura, interpretada com a dipòsit, de planta rectangular i amb un recobriment de calç per damunt de la cara externa de les parets. En una segona fase aquest espai seria modificat i passà a funcionar com a aljub. També cal destacar la documentació de varis murs d'*opus caementicium* amb arrebossat de morter de calç en el parament interior, diversos paviments d'*opus signinum*, un possible enllosat de pedres, i el tram d'un aqüeducte, de 687 cm de longitud. El seu canal o *specus* conduïa l'aigua a nivell de terra, al menys en el tram documentat, i estava construït amb dues parets molt primes, d'aproximadament 0.42 cm de gruix, i de 45 cm d'alçada, amb un recobriment d'*opus signinum* a l'interior (Nolla *et al.* 2002: 205, Fig. 3). A partir de les estructures identificades amb el seguiment de les rases i dels sondeigs, Nolla i Santamaria (2001) i Nolla i col·laboradors (2002) interpreten que en aquella zona hi hauria existit un complex residencial tipus *villa* que, en el moment de màxim desenvolupament, al voltant del canvi d'Era, hauria ocupat una extensió aproximada de 5000 m<sup>2</sup>, estructurats entre la *pars rustica* i la *pars urbana*. En aquest sentit, Santamaria i Pedret (2005) realitzen una prospecció amb georadar en aquesta àrea i constaten la possible presència d'un espai central obert al voltant del qual s'estructurarien les dependències de la *villa*. Així mateix, també s'insinua que hi podria haver algun tipus de relació entre la consolidació d'aquest establiment i l'abandonament de l'*oppidum* ibèric del Castell de la Fosca a Palamós, al llarg del segle I aC (Nolla *et al.* 1998).

Pel que respecte el material ceràmic documentat en la intervenció de l'any 2000, abunden els conjunts que són datats del període baix-republicà i augustal. El fragment que proporciona una datació més antiga és d'una vora d'àmfora del tipus Greco-itàlica, que mostra un perfil molt obert i de secció triangular. Nolla i Santamaria (2001) li

atribueixen unes cronologies molt antigues; la situen entre la segona meitat avançada del segle III aC i principis del segle II aC. En qualsevol cas, però, cal tenir present que es tracta d'una troballa clarament puntual. Els conjunts que aportaren major nombre de fragments, en canvi, són datats d'entre la segona meitat del segle II aC i primera meitat del segle I aC. Seria el cas de ceràmiques Campaniana A, Campaniana B, plats del tipus Lamb.5 —amb decoració al fons interior de dos cercles concèntrics impresos i, en la corona resultant, de dues faixes d'estries, molt freqüent en els conjunts de la primera meitat de segle I aC—, ceràmica grisa emporitana atribuïble a la forma C, fragments de paret de *kalathos*, i d'àmfores tipus Dressel 1. En quant als darrers contextos de la *villa*, en destaquen els conjunts ceràmics formats per *terra sigillata* Africana D, que daten del voltant de l'any 300 dC, morters del tipus Hayes 91 A, escudella grisa del tipus Rogoïr 15, àmfores dels tipus Africana IIC o Keay VI —que cobreixen el període cronològic des del segon quart de segle III i tot el segle IV—, i alguns fragments de DS.P. als que els autors li atribueixen una provinença de la zona de la Provença i unes cronologies d'entre finals del segle IV fins a inicis del segle VI.

A finals de l'any 2002 es tornaren a realitzar intervencions arqueològiques en el Collet de Sant Antoni de Calonge (Nolla *et al.* 2003; Nolla *et al.* 2004). En aquesta ocasió, les intervencions se centraren en el vessant sud-est del turó. En aquesta zona es realitzà una excavació en extensió que va permetre documentar les restes d'una gran edifici de planta rectangular —d'aproximadament 45 m de llargada i 13 m d'amplada—, així com de diversos àmbits annexos que configurarien les dependències d'un centre productor d'àmfores (Figura 20), definint fins a quatre fases diferenciades.

La primera fase, denominada Fase 0 per Nolla i col·laboradors (2003, 2004), correspon a la primera ocupació de la zona en època republicana. Malgrat que no es coneix cap resta d'estructura que pugui ésser associada a aquest moment, sí que es va documentar un conjunt ceràmic, format bàsicament per ceràmiques ibèriques i Campaniana A i B.

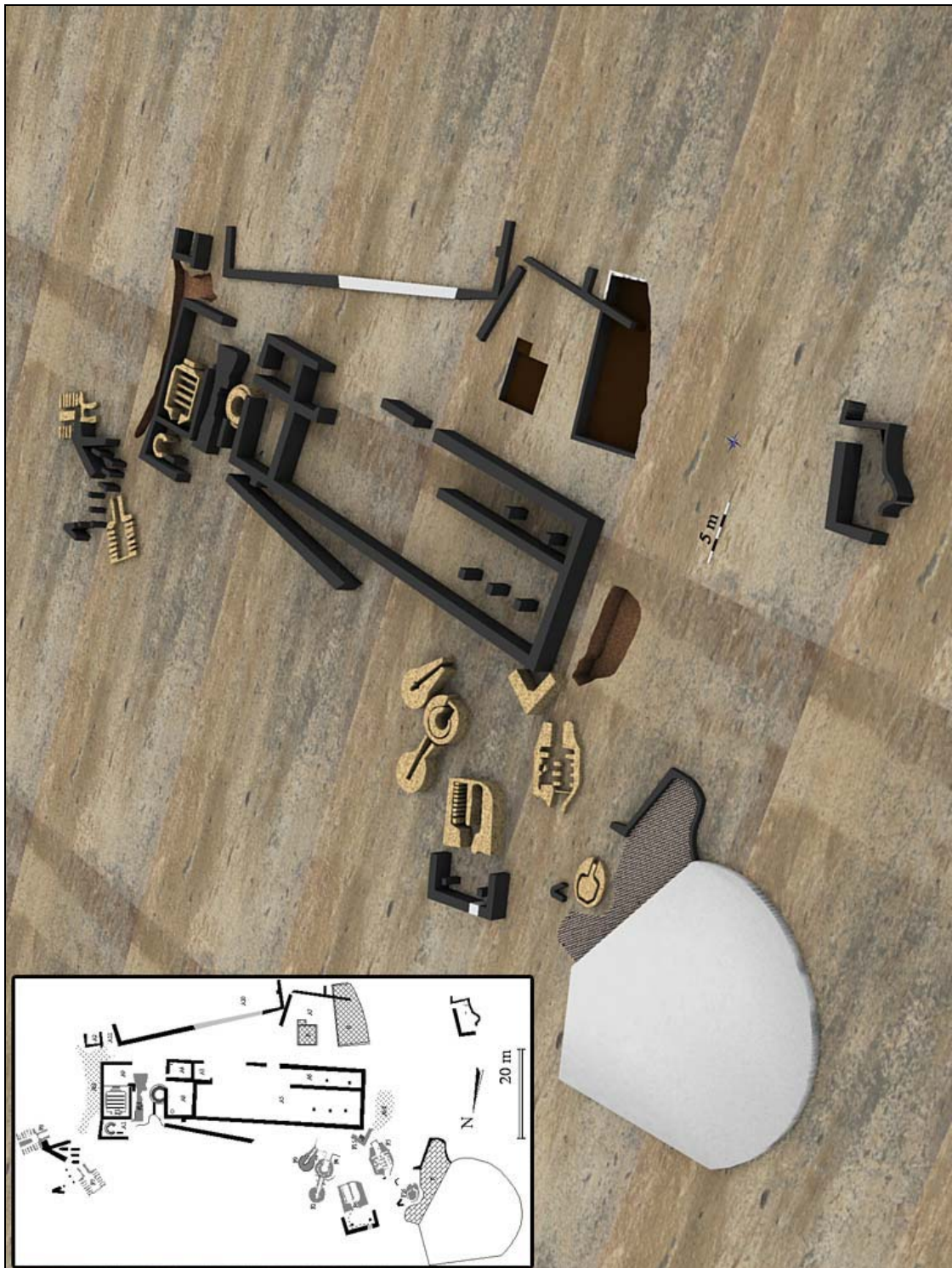
En la segona fase, denominada Fase I, es documenten els primers nivells associats a les estructures del taller, corresponents al període augustal. En aquesta fase es construeix un primer forn (F14) en el costat est del jaciment, del qual només se'n coneix una part, car va ésser enderrocat en algun moment del segle I dC abans de



construir-ne un altre a sobre (F1). La part que va poder ésser documentada mostra una estructura excavada en el terreny amb un mur perimetral construït a base de tovots que, a diferència de la resta de forns d'aquest centre, delimita el contorn sense arribar fins a la base. El *praefurnium* d'aquest forn estaria orientat vers el sud, seguint la inclinació del turó.

A pocs metres d'aquest forn es documentaren restes d'una escombrera d'uns 2 m de potència, dins de la qual hi havia abundants restes de materials de construcció, bàsicament fragments de parets i de graelles de forns, així com alguns fragments de *dolia*.

En aquesta fase es construeixen també altres quatre forns de planta circular (F2, F4, F9, F16), localitzats en la meitat occidental del jaciment, un dels quals ha estat interpretat com un forn de calç. Aquest darrer aspecte és força interessant donat que, com ja hem dit en el Capítol 1, la calcita és un dels minerals emprats amb més freqüència com a desgreixador de pastes argiloses. Tanmateix, el seu ús pot provocar una sèrie de problemes derivats de la dissociació de la calcita, en coccions que superin els 700-900 °C, com ara l'aparició d'esquerdes o, fins i tot, el trencament complet de la ceràmica. En aquest sentit, diversos estudis han suggerit que per a evitar els problemes que acompanyen el fenomen de la dissociació en coccions que superin el rang de temperatura esmentat, els ceramistes podrien haver calcinat la calcita abans d'afegir-la com a desgreixador (Bronistky i Hamer 1986; Hoard *et al.* 1995). Aquesta podria ésser un dels usos d'aquest forn, així com, evidentment, per a l'obtenció d'hidròxid de calci ( $\text{Ca}[\text{OH}]_2$ ), anomenat vulgarment cal morta o amarada, per a la preparació de morter o argamassa (Adam 1996: 69-84). Una opció tècnica diferent podria ésser la de mullar la pasta argilosa amb aigua de mar o afegir-hi clorur de sodi, component que inhibeix la dissociació de la calcita (Rye 1981) i que, en qualsevol cas, és molt abundant en les context geològic més immediat del jaciment.

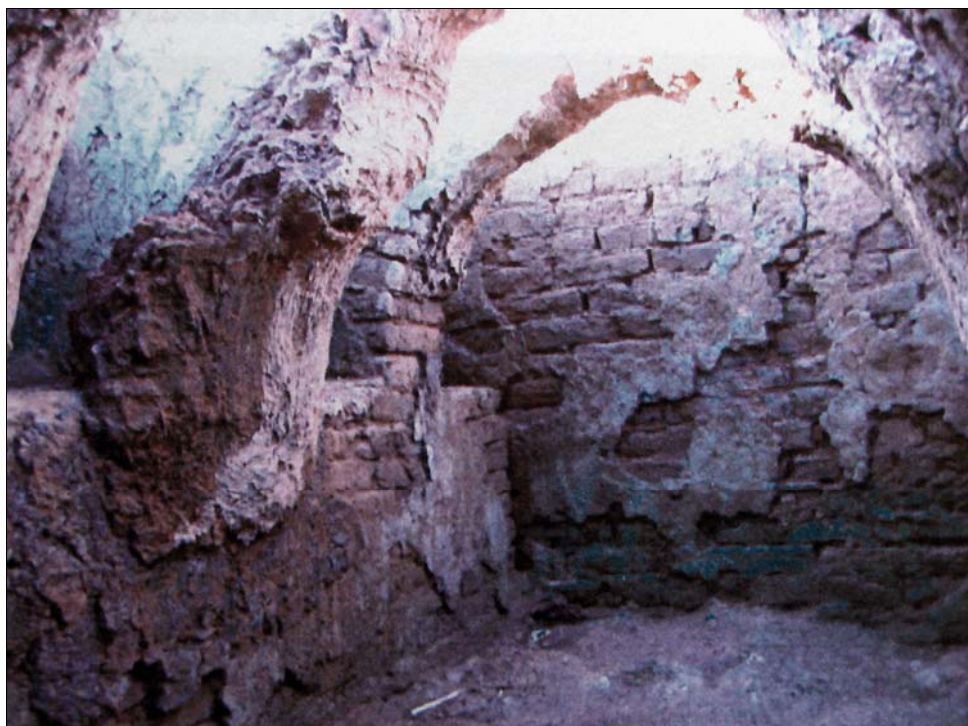


**Figura 20.** Restitució de les estructures documentades en el jaciment del Collet de Sant Antoni de Calonge. **A:** Àmbit; **Ab:** Abocador; **B:** Bassa de decantació; **F:** Forn; **P:** Paviment.

Abans de finalitzar amb la Fase I cal fer esment dels forns de majors dimensions (F5 i F15). La cambra de combustió del primer presentava unes dimensions interiors de 335 x 370 cm de costat, i estava orientada vers el sud. Tota l'estructura del forn, excavada en el terreny, fou construïda a partir de tovots i fragments de *tegulae*, amb un arrebossat d'argila en el parament interior. Pel que respecta a la seva estructura interior, ha estat definit com a un forn de doble corredor amb mur central. La graella, construïda amb tovots disposats de llarg i de través, se sostindria sobre un conjunt d'arcades dobles, a excepció de la primera, assentades a sobre d'una banqueteta lateral i un mur central (Nolla *et al.* 2004: 195). El material ceràmic que es troba en els estrats associats a aquest forn correspon majoritàriament a fragments de Pascual 1 i de Dressel 2-4, per bé que també se'n documentaren alguns fragments dels tipus Laietana 1/Tarraconense 1, Oberaden 74 i Dressel 7-11. A pocs metres d'aquest es troba el forn 15, del qual se'n desconeix la planta complerta, car fou arrasat durant la construcció del mur que tanca la nau central pel costat nord (A5). La part que es va poder documentar, un fragment d'una de les arcades amb part de la graella, estava també excavada en el terreny i orientada vers el sud, seguint la inclinació del turó.

La tercera fase, denominada Fase II, es correspondria amb el moment en què la producció se centra, gairebé de manera exclusiva, en les àmfores del tipus Dressel 2-4. Nolla i col·laboradors (2004: 196) daten el moment final d'aquesta fase del període de Neró, a partir d'una moneda amb data de l'any 60 dC documentada a l'interior d'un abocador. Durant aquesta fase es produeixen un seguit de remodelacions de l'espai; s'enderroca el forn 14 i es construeix el forn 1 —de característiques similars a les del forn 5—, i els àmbits annexos (A1, A9).

D'aquesta fase també són els forns localitzats a l'extrem nord-est del jaciment (F7, F8) que s'haurien destinat, principalment, a la cocció d'àmfores Dressel 2-4. El gran abocador dels rebuigs d'aquests envasos (AbII) es troba a l'extrem oest de la gran nau situada en el centre de l'àrea excavada (A5).



**Figura 21.** Interior del forn 1 del centre productor del Collet de Sant Antoni de Calonge (Nolla *et al.* 2001: Annex 2).

Un cop s'abandona l'activitat de producció ceràmica en aquest centre, l'espai és emprat com a necròpolis, el que configura la darrera fase, denominada Fase III. D'aquesta fase en formarien part un total de trenta cinc enterraments, la cronologia dels quals es situa des d'inicis del segle II dC fins a finals del segle IV i inicis del V dC, i que es localitzen al voltant dels forns 1, 7, i 8.

#### 5.2.6.1 *Individus caracteritzats*

Procedents del centre productor del Collet de Sant Antoni de Calonge han estat caracteritzats un total de 38 individus amforals, seleccionats pels arqueòlegs responsables dels materials recuperats durant la intervenció arqueològica realitzada l'any 2002 (Nolla *et al.* 2004). D'aquests, 33 han estat identificats tipològicament com a

Pascual 1, 2 com a Laietana 1/Tarraconense 1, 1 com a Dressel 7-11 i 2 com a Oberaden 74. La referència dels individus caracteritzats apareix en la taula següent. Els dibuixos dels individus es presenten en l'Annex 2.

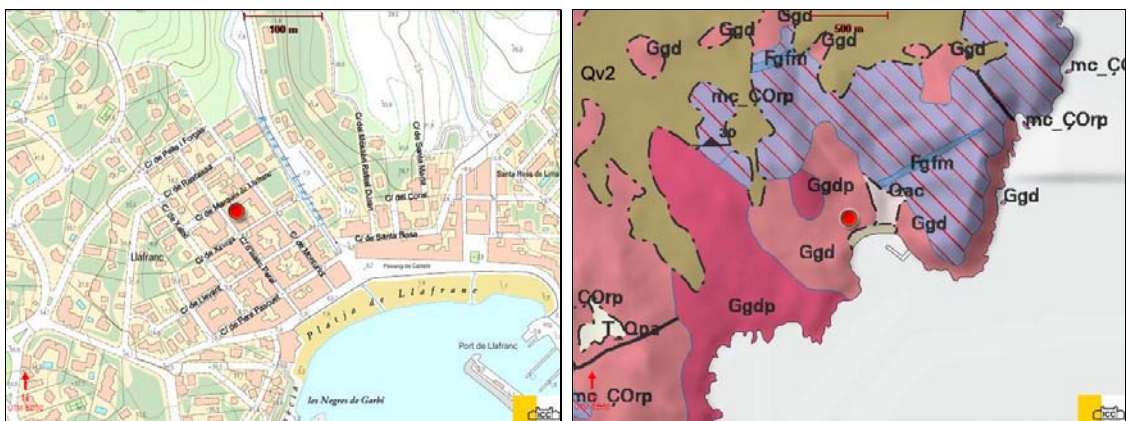
Referència	Tipus	Fragment analitzat	Context Arqueològic	Any d'excavació	Sigla
CAL001	P1	Vora	Forn 5 i 15? Fase I	2002	CSA-P1
CAL002	P1	Vora			CSA-P2
CAL003	P1	Vora			CSA-P3
CAL004	P1	Vora			CSA-P4
CAL005	P1	Vora			CSA-P5
CAL006	P1	Vora			CSA-P6
CAL007	P1	Vora			CSA-P7
CAL008	P1	Vora			CSA-P8
CAL009	P1	Vora			CSA-P9
CAL010	P1	Vora			CSA-P10
CAL011	P1	Vora			CSA-P11
CAL012	P1	Vora			CSA-P12
CAL013	P1	Vora			CSA-P13
CAL014	P1	Vora			CSA-P14
CAL015	P1	Vora			CSA-P15
CAL016	P1	Panxa			CSA-P16
CAL017	P1	Vora	UE-1001 Fase I	2002	CSA-02-1001
CAL018	P1	Panxa	UE-1149 Fase I	2002	CSA-02-1149-2
CAL019	P1	Panxa	UE-1322 Fase I	2002	CSA-02-1322
CAL020	P1	Panxa	UE-2020 Fase I	2002	CSA-02-2020-1
CAL021	P1	Vora			CSA02-2020-2
CAL022	P1	Vora	UE-2047 Fase I	2002	CSA-02-2047
CAL023	P1	Vora	UE-2201 Fase I	2002	CSA-02-2201
CAL024	P1	Vora	UE-3092 Fase I	2002	CSA-02-3092-3
CAL025	P1	Panxa			CSA-02-3092-4
CAL026	P1	Vora?	UE-3113 Fase I	2002	CSA-02-3113
CAL027	P1	Vora	UE-3117 Fase I	2002	CSA-02-3117
CAL028	P1	Vora	UE-1449 Fase I	2002	CSA-02-1449-3
CAL029	P1	Vora	UE-1463 Fase I	2002	CSA-02-1463-2
CAL030	P1	Vora	UE-1469 Fase I	2002	CSA-02-1469-1
CAL031	P1	Vora			CSA-02-1469-2
CAL032	P1	Vora			CSA-02-1469-4
CAL033	P1	Vora			CSA-02-1469-5
CAL034	L1/T1	Vora	UE-1201 Fase I	2002	CSA-02-1201
CAL035	L1/T1	Panxa?	UE-3092 Fase I	2002	CSA-02-3092-1
CAL036	Dr 7-11	¿?	UE-1318 Fase I	2002	CSA-02-1318-18
CAL037	Ob74	Coll?	UE-3092 Fase I	2002	CSA-02-3092-5
CAL038	Ob74	Vora	Fase I?	2002	CSA-02-OB1?

**Taula 4.6.** Quadre resum dels individus caracteritzats del centre productor del Collet de Sant Antoni de Calonge.



### 5.2.7 El centre productor de Llafranc (Palafrugell)

Llafranc pertany al terme municipal de Palafrugell. En la zona més septentrional, Llafranc s'endinsa en l'anomenat corredor de Palafrugell, limitant amb el massís de Begur a l'est i amb el massís de les Gavarres a l'oest. Aquesta zona interior es caracteritza per l'existència de planes al·luvials on hi ha turons de poca alçada, sense superar els 100 m d'altitud, a diferència del que ocorre en la zona litoral, molt més accidentada, i a on es troben formacions muntanyoses més altes, com ara la muntanya de Sant Sebastià el cim de la qual està a 165 m s.n.m. Tot aquest territori queda travessat per un seguit de torrents i rieres, com serien les de Vilarnau o Santa Margalida, fet que ha estimulat el desenvolupament d'activitats agrícoles en aquesta zona al llarg dels anys. Pel que respecta la zona litoral, Llafranc es troba delimitat per la riera de la Font d'en Xecu a l'oest, a través de la qual es podien establir comunicacions amb les terres de l'interior de Ginestar, especialment aptes per al conreu del cereal i de la vinya, i per la riera de Llafranc a l'est, que comunica amb les també zones fèrtils del vessant de la ja esmentada muntanya de Sant Sebastià. Precisament, a menys de cent metres en línia recta de l'actual curs d'aquesta riera es troben, a ambdues bandes, les restes més importants del centre productor de Llafranc.



**Figura 22.** Localització del centre productor de Llafranc sobre mapa topogràfic 1:5000 (esquerra) i geològic 1:50000 (dreta). **Fgfm:** Filons de granòfirs, felsòfirs i microgranits; **Ggdp:** Granodiorites porfíriques; **Ggd:** Granodiorites i granits alcalins; **mc\_ÇOrp:** Fil·lites i cornubianites. Materials afectats per metamorfisme de contacte; **Qac:** Dipòsits al·luvials-col·luvials. Graves amb matriu sorrenca i argilosa; **T\_Qpa:** Plana al·luvial i/o deltaica del Ter; **Qv2:** Blocs, graves, sorres i argiles.

Com pot ésser observat en la Figura 22, el context geològic més immediat de l'àrea on es va establir el taller de Llafranc està format bàsicament per granodiorites i granits alcalins, que representen les darreres restes del batòlit de la serralada litoral, així com per grans blocs de graves, sorres i argiles, que s'endinsen a l'interior i recorren tot el subsòl de Palafrugell. També cal destacar l'existència d'una gran àrea de metamorfisme de contacte, formada per cornubianites i fil·lites, així com d'alguns petits filons de granòfirs, felsòfirs i microgranits, materials tots aquests que aporta, des de l'interior, la riera de Llafranc.

Les primeres referències que es tenen sobre l'existència de possibles restes arqueològiques d'època romana a Llafranc provenen d'un document del segle XVIII en el qual es dona notícia del descobriment en un indret indeterminat d'un conjunt de monedes —entre d'altres, dels períodes de Neró, Adrià, Antoní Pius i Galiè—, així com d'una petit bust i un total de catorze medalles (Pella 1883). També al llarg de tot el segle XIX apareixen notícies sobre troballes arqueològiques en diversos indrets propers a la platja de Llafranc, en les que es poden trobar mencions sobre conjunts ceràmics, restes de paviments, mosaics, estàtues de bronze i monedes (Bartí *et al.* 2004: 21-37). Igualment, a finals del segle XIX, durant les obres de construcció de l'església situada en l'actual carrer Santa Rosa, fou descoberta una necròpolis d'època romana, però de la qual se'n desconeix el període de funcionament.

Ja en el segle XX, les intervencions arqueològiques han continuat essent freqüents a Llafranc. Les excavacions més recents han documentat, a més de restes d'estructures de forns i abocadors, restes d'una premsa de vi i d'estructures que es podrien correspondre a un celler en el qual es realitzaria el procés de transformació del most en vi.

Les excavacions realitzades l'any 1999 en els terrenys del turó de l'església, en els carrers del Coral i de Santa Marta, documentaren quatre estances que han estat interpretades com a habitacions dins de les quals es realitzaria el premsatge del raïm (Caja 2000). D'aquestes estances, tres es corresponen molt probablement a àmbits de planta rectangular, mentre que el coneixement limitat de la quarta no permet fer cap atribució general. De fet, el coneixement de la superfície de totes les estances és força parcial. Els murs que delimiten aquests quatre àmbits estan construïts amb pedres i

fragments de ceràmica lligats amb morter, i segueixen la mateixa orientació que la resta d'estructures romanes documentades a Llafranc, SO-NE. De manera similar al que es va documentar en el jaciment d'El Mujal, els paviments d'*opus signinum* d'aquests àmbits presentaven, en els punts de contacte amb la paret, una secció de quart de cercle a conseqüència d'haver portat el paviment fins a uns quants centímetres de la vertical de la paret. En la part nord de l'estança superior es va trobar també un gran bloc de pedra encaixat en el paviment d'*opus signinum*. Aquesta peça, de 163 cm de llargada i 60 cm d'amplada, formaria part de la base de les estructures d'una premsa de vi.



**Figura 23.** Superior: Restes del paviment d'*opus signinum* de l'estança superior del C/ del Coral. Inferior: Detall de la base de l'estructura de la premsa (Barti *et al.* 2004: 66-67).



Les reconstruccions hipotètiques que s'han realitzat de les premses de vi d'època romana (Brun 2004; Peacock i Williams 1986; Rossiter 1981; Tremoleda 2000) defineixen el que seria un dels dissenys més habituals a partir d'un gran tronc de fusta o *prelum* que funcionaria com a braç de pressió horitzontal, i que estaria fixat a un extrem de l'estructura per dos troncs paral·lels disposats en vertical; els anomenats *arbores*. Alhora, aquests estarien encaixats en un bloc de pedra que els fixaria al sòl de l'estança de premsatge. A l'altre extrem del *prelum* hi hauria d'haver un gran bloc de pedra fixat amb cordes i situat en un nivell més baix, que funcionaria de contrapès. D'aquesta manera, un sistema de cordes que lligués el contrapès amb un nivell superior —per exemple una biga encaixada en un mur annex— permetria moure a dalt i a baix el braç de premsatge.

Així doncs, tot sembla apuntar que el gran bloc de pedra documentat en el carrer del Coral es correspondria a la base d'una premsa de vi, concretament a la part inferior a on es fixarien els *arbores*. En l'estança contigua es documentà, també en la part nord, un element interfacial d'aproximadament 40 cm de potència, dins de la qual probablement s'hauria encaixat una pedra de característiques similars a l'anterior. Al nord d'aquestes estances, vers la part alta del turó de Santa Rosa, hi apareixia un retall a la roca, delimitant un angle recte d'orientació E-O en la part més septentrional i N-S en la banda oriental. La presència de restes de paviment d'*opus signinum* i de fragments d'àmfora Dressel 2-4 en els estrats associats a aquest espai, així com de restes de morter de calç en les parets laterals de la roca retallada, ha fet pensar que el retall de roca es correspondria al bastiment d'alguna estructura relacionada amb l'àrea de premsatge, cosa que estendria la seva superfície fins a la part més elevada del turó, a uns 30 m s.n.m. Atès que l'àrea de premsatge de vi acostuma a situar-se en les cotes més altes dels centres productors, i assumint un model de terraces similar al proposat per Pal·ladi en el seu *Tractat d'Agricultura*, el primer dipòsit receptor del most premsat s'hauria de localitzar aproximadament en una zona immediatament al sud de les premses, àrea que a dia d'avui es troba encara sense excavar. Malgrat això, cal esmentar que, ja des de finals del segle XIX, es tenen notícies de la possible ubicació d'aquests dipòsits en aquesta mateixa zona (Fina 1898).

El període de funcionament de l'àrea de premsatge, estimat a partir del material

ceràmic recuperat en aquests àmbits, es situa en els tres primers quarts del segle I dC (Caja 2000).

A menys de 200 m d'aquesta àrea de premsatge, en la cantonada entre els carrers de Llevant i de Monturiol, fou documentada una estança de planta rectangular amb tres envans que separaven diferents espais. Els paral·lelismes existents entre aquestes estructures i les d'altres jaciments (Buxó i Tremoleda 2002; Gurri *et al.* 1998), així com la gran quantitat de fragments de *dolia* i d'àmfora documentades, suggereixen que aquest espai hauria estat emprat per una activitat relacionada, molt probablement, amb l'emmagatzematge de vi (Llinàs i Sagrera 1993). Aquesta estança sembla que delimita, per la seva banda est, amb un mur de pedra d'una amplada aproximada de 82 cm i d'orientació N-S. Perpendicular a aquest mur se'n documentaren tres més, la poca entitat dels quals —construïts amb una barreja de rajoles i morter, i d'aproximadament 15 cm d'amplada— ha fet pensar que actuarien com a simples envans de separació d'àmbits (Barti *et al.* 2004: 69-73). En aquest àmbit es poden diferenciar dos tipus diferents de pavimentació. D'una banda es constata la presència de paviment d'*opus signinum* des de l'espai immediat als murs fins a uns 40 cm en direcció oest. D'altra banda, l'àrea situada més a l'interior està coberta per un paviment de terra batuda. El conjunt d'aquestes estructures hauria funcionat des d'un moment inicial del segle I aC fins a mitjan segle II dC, període durant el qual se'n diferencien dues fases diferents d'ocupació. La primera fase es correspon a una ocupació des del primer quart del segle I aC fins a època flàvia, al voltant dels anys 70-80 dC, moment en què un incendi destrueix els murs que funcionaven com a envans de separació. Aquesta fase seria contemporània al funcionament de les premses documentades al dalt del turó de l'església, etapa durant la qual sembla que la producció d'àmfores assoliria les quotes més elevades (Barti *et al.* 2004: 90-93). D'aquesta fase també en formaria part una llar de foc construïda a partir de *tegulae*, i que Llinàs i Sagrera (1993) interpreten com el lloc on probablement se situarien les calderes destinades a la reducció del most per a preparar *defrutum*.

Les dades disponibles permeten estimar una superfície d'aproximadament 29 m<sup>2</sup> per a les estances destinades a l'emmagatzematge de vi durant aquesta primera fase. Tanmateix, aquestes dimensions han estat considerades com a excessivament reduïdes

per Barti i col·laboradors (2004: 70) si es pren en consideració el volum total de vi que podrien haver produït les premses. Aquestes autores assumeixen una mitjana d'un *dolium* per a cada 4 m<sup>2</sup> de superfície, cada un dels quals tindria una capacitat d'entre 1000 i 2000 l de vi. Això comporta que les estances documentades a Llafranc només podrien donar cabuda aproximadament a 8 *dolia* d'aquestes característiques, assumint a més que l'espai a on es disposarien els *dolia* seria el de terra batuda, entenent que el paviment d'*opus signinum* marcaria el límit de l'espai destinat estrictament a l'emmagatzematge.

La segona fase del celler s'iniciaria immediatament després de l'incendi que hauria destruït els envans de separació. En aquesta fase, el mur de pedra continua delimitant l'edifici per la banda est, per bé que no es documenta cap estructura de separació d'espais interiors. Tanmateix, la gran quantitat de fragments de *dolia* suggereix que aquesta estança podria continuar funcionant com a espai d'emmagatzematge de vi, per bé que, en aquests moments, les premses del turó ja haurien deixat de funcionar, i es desconeguin altres possibles instal·lacions. A mitjan segle II dC aquest espai és abandonat quan un altre incendi torna a destruir el magatzem. Aquesta segona destrucció suposa un canvi definitiu en la funcionalitat de l'àmbit, car el sector és remodelat i esdevé una zona d'habitatges.

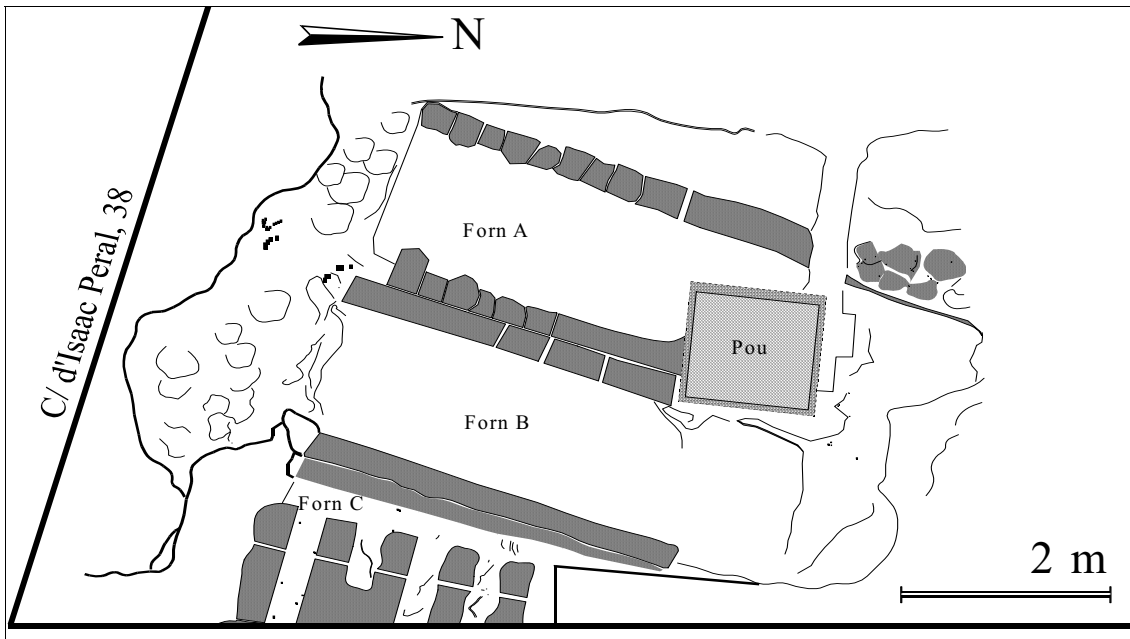
El conjunt de les estructures del taller s'ha posat en relació amb les documentades anys abans en la seva banda occidental (Barti i Plana 1989). Aquestes autores documenten en el subsòl del solar del número 8 del carrer de Llevant un mur paral·lel al que delimita la cara est del celler, si bé la parcialitat de les excavacions d'aquell moment no va permetre proposar cap interpretació sobre la funcionalitat de l'àmbit. Posteriorment aquesta zona torna a ésser objecte d'una excavació preventiva, en aquest cas en la cantonada dels carrers de Llevant i d'Isaac Peral, en la qual es documenta un tram de mur de pedres unides amb morter, reforçat pel costat sud-est per un contrafort rectangular, i que possiblement es correspondria amb el límit sud de l'edifici del celler. Coincidint amb les remodelacions que es produïen en l'estança del celler a finals del segle I dC, en aquest espai es constata també un anivellament del terreny amb grans aportacions de sorres, que comporta l'elevació del nivell de circulació, a excepció de la cantonada nord-oest, a on es disposen set filades

superposades de *tegulae*, que seran posteriorment amortitzades amb un paviment d'*opus signinum* (Llinàs 1998).

L'any 2003, durant el seguiment de les rases fetes per a la instal·lació de conductes de gas en els carrers de Monturiol i de Llevant, foren documentats, d'una banda, un gran abocador format principalment per fragments d'àmfora Pascual 1, i, d'altra, dos dipòsits revestits d'*opus signinum*, que seran posteriorment interpretats per Barti i col·laboradors (2004: 73) com a restes d'un *lacus* a on es dipositaria el most resultat del premsat del raïm.

La producció d'àmfores a Llafranc està recolzada per la documentació arqueològica de restes de sis forns, diversos dipòsits, abocadors i magatzems que configurarien un centre terrisser que hauria funcionat des dels darrers anys del segle I aC fins a finals del segle III dC (Badia 1966; Barti i Plana 1989; Barti i Plana 1993; Barti *et al.* 2004; Nolla i Casas 1984; Nolla *et al.* 1982; Tremoleda 2000). Els forns apareixen agrupats en grups de tres, ja sigui disposats en bateria —de planta rectangular—, o a poca distància els uns dels altres —de planta circular. Tanmateix, pel que respecte els abocadors, només es coneixen els associats als forns disposats en bateria. Els individus caracteritzats en el marc d'aquesta tesi procedeixen d'aquests dipòsits.

Diverses actuacions preventives realitzades l'any 1988 i 1989 permeteren documentar en el subsòl dels solars situats en els números 31 i 38 del carrer d'Isaac Peral un conjunt d'estructures corresponents a tres forns (A, B, C), així com un àmbit annex que s'interpretà com un possible magatzem (Barti i Plana 1993).



**Figura 24.** Planimetria dels forns (A, B, C) documentats en els solars corresponents als números 31 i 38 del carrer d'Isaac Peral (A partir de Barti i Plana 1993: Fig. 2).

L'anomenat forn A presentava una forma similar a la definida per Cuomo (1972) com a tipus IIb, o la definida per Le Ny (1988) com a tipus IIE. Es tracta d'una estructura de planta rectangular d'aproximadament 7.80 m de llargada i 1.95 m d'amplada. Les parets laterals del forn, d'aproximadament 1 m d'alçada i 29.5 cm d'amplada, estaven construïdes amb tovots que semblen reflectir l'ús del peu romà com a unitat de referència. En la part superior es documentaren els punts d'arrencada dels arcs que devien sostenir la graella que separaria la cambra de cocció de la cambra de combustió, l'entrada de la qual apareixia excavada en la roca natural. Al costat d'aquesta entrada s'hi trobà un potent nivell d'enderroc d'una teulada, que probablement hauria servit d'aixopluc a una espai de magatzem. El nivell de circulació d'aquest espai estava format per una plataforma de pedres disposada directament a sobre de la roca natural. Al seu costat s'hi documentà el forat deixat per un pal en el sauló, que probablement sostindria la coberta de la teulada. El material ceràmic identificat entre l'enderroc estava format per fragments d'àmfora dels tipus Pascual 1,

Dressel 2-4 i Dressel 7-11. La paret que delimitava el forn pel costat sud, també retallada en el sauló, estava reforçada per un mur de pedres de gran mida, que es recolzava també amb els altres dos forns adjacents. Aquest mur de pedra seca sembla que s'hauria construït per tal de reforçar les estructures dels tres forns a causa dels desnivells del terreny (Barti i Plana 1993). Del material documentat a l'interior d'aquest forn en destaquen els fragments d'àmfora tipus Dressel 2-4 i Dressel 7-11, de ceràmica comuna, de parets fines i, en menor quantitat, de *terra sigillata* atribuïbles als tipus Drag.24-25, Drag.27, Drag.29, Drag.37, i una possible forma Hayes 27.

El forn B presenta unes característiques similars a les descrites per al forn A, però bé que havia estat arrassat d'antic. Així, d'aquest forn només es varen poder documentar el tram dels murs laterals que limitaven amb els forns A i C, així com el basament de la paret sud que també havia estat retallada en el sauló, desconeixent-se l'entrada a la cambra de combustió. La poca quantitat de fragments ceràmics que es trobaren al seu interior corresponien a àmfores del tipus Pascual 1 i Dressel 2-4.

El forn C només va poder ésser excavat per la seva banda oest, car la resta de l'estructura s'endinsava dins del solar veí. Malgrat això, es pogueren documentar fins a cinc dels arcs que sustentarien la graella del forn. Aquests arcs estaven construïts a partir de tovots i es recolzaven a sobre d'un contrafort adossat a la paret interior del forn, la qual, com succeïa amb els altres dos forns, estava també construïda amb tovots. El material ceràmic recuperat del seu interior responia exclusivament a fragments de material de construcció, concretament *tegulae* i *imbrices*.



**Figura 25.** Detall dels arcs de sustentació de la graella del forn C (Barti *et al.* 2004: 79).

Junt a aquest conjunt de forns es descobriren dos dipòsits que Barti i Plana (1993) interpreten que seria el lloc a on es tractaria l'argila abans de fer-la servir en la confecció de les peces. Aquestes basses de decantació, situades a pocs metres al nord-est de l'entrada de la cambra de combustió dels forns, estaven retallades en el terreny i recobertes per una fina capa de calç. En quasevol cas, aquests dipòsits foren colgats ràpidament, durant la primera fase de funcionament dels forns, i passaren a funcionar com a abocadors. El tercer dipòsit documentat en aquest sector correspon a un moment posterior; va ésser construït a sobre de les estructures del forn A i va funcionar com a pou. Associat a aquest pou es descobrí un tram de canonada feta a partir d'*imbrices* disposats del dret i de l'inrevés, seguint el desnivell del terreny.

A partir del conjunt de material ceràmic documentat en aquests tres forns i en els dipòsits immediats, Barti i col·laboradors (2004: 79) suggereixen que el seu període de funcionament estaria entre alguns anys abans del canvi d'Era i finals del segle I dC.

L'altre conjunt de forns documentats arqueològicament a Llafranc es localitza en la cantonada dels carrers de Monturiol i de Xàvega. En aquest cas es tracta de tres forns

de planta circular d'aproximadament 1.60 m de diàmetre (Merino 1996). Malgrat que es desconeix la possible producció associada a aquestes estructures, en un estudi posterior (Barti *et al.* 2004: 81) es proposa per a aquest conjunt una cronologia posterior a la dels forns del carrer d'Isaac Peral, suggerint un període de funcionament d'aproximadament 30 o 40 anys, al voltant de la meitat del segle II dC. En aquest mateix solar també fou documentat un dipòsit que s'hauria emprat per a la decantació d'argila, que en opinió de Barti i Plana (1993) seria contemporània als forns de planta rectangular i que seria a on es tractaria l'argila amb què es confeccionarien les peces que serien posteriorment cuites en aquells forns.

A més d'aquests dos conjunts de forns documentats, es coneix un seguit de notícies, recollides per Barti i col·laboradors (2004), que fan esment de l'existència d'estructures que podrien respondre també a forns de producció ceràmica, però dels quals no se'n coneix cap resta. La més antiga es situa a finals del segle XIX, si bé no es fa esment de la ubicació de les restes. Els altres testimonis, ja en la segona meitat del segle XX, recorden que existien fins a tres estructures visibles en la zona del carrer de Monturiol, de les quals dues foren destruïdes durant diferents obres de construcció en el sector, i la restant tornà a ésser tapada.

Pel que respecte als abocadors de ceràmica, se'n coneixen un total de cinc que han estat documentats arqueològicament, a més d'altres dos conjunts de material ceràmic descontextualitzat que també podrien formar part d'antigues escombreres relacionades amb el centre productor. En els anys 60, Badia documentà un dipòsit d'àmfores en el solar situat en el número 21 bis del carrer d'Isaac Peral. Aquest era un dipòsit d'àmfores del tipus Pascual 1, una de les quals presentava la marca amb caràcters llatins SVL.VEIEN<sup>23</sup> (Badia 1966). No obstant, la seva interpretació ha estat objecte de certa discussió, i autors posteriors han plantejat la possibilitat que es tractés d'un espai emprat com a magatzem d'àmfores (Barti *et al.* 2004: 84-85).

Les excavacions dirigides per Nolla l'any 1980 varen suposar el descobriment en el número 40 del carrer d'Isaac Peral, pocs metres al nord d'on posteriorment serien documentats els forns de planta rectangular, d'una escombrera que palesa diferents

---

<sup>23</sup> Sobre la interpretació d'aquesta marca, així com de les activitats d'aquest personatge a Llafranc veure (Tremoleda i Trilla 1998).



nivells de funcionament. En el primer nivell, l'escombrera apareix relacionada amb un mur de pedra seca que s'assenta directament a sobre de la roca natural. A partir del material ceràmic recuperat —Pascual 1 i Dressel 2-4— es proposa que aquest primer nivell fou dipositat en un moment indeterminat dins del segle I dC. La segona fase de funcionament es situa cronològicament al llarg del segle II dC. En aquest cas el material ceràmic més abundant correspon als tipus amforals Dressel 2-4 i Gauloise 4, així com a diversos materials de construcció i ceràmica comuna (Nolla i Brufau *et al.* 1982). Procedent d'aquesta intervenció, cal fer esment, per ésser un cas únic en tot el litoral peninsular català, de la troball d'una estesa de 78 *tegulae* disposades en horitzontal per al seu eixugat abans de la cocció. Aquesta estesa, que va quedar protegida fins a l'excavació per les terres que havien amortitzat el sector d'antic, va ésser abandonada per raons desconegudes.

El coneixement d'aquesta àrea d'abocadors fou ampliada amb la descoberta, en els espais més immediats als forns de planta rectangular, de dos abocadors més. Barti i Plana (1993) documentaren, a pocs metres del pou cosntruit a sobre del forn A, un mur d'estructura tripartida amb un recobriment de calç en la part superior. En aquest cas, els paraments interior i exterior estaven construïts a partir de tres filades de pedres irregulars unides amb argamassa, mentre que el farciment intern era de pedres de diverses mides. Aquest mur sembla que delimitaria un abocador dins l'espai que correspondria a l'interior de l'edifici dels forns. Aquest dipòsit estava format per fragments d'àmfora dels tipus Pascual 1 i, en menor quantitat, Dressel 2-4 i Dressel 7-11, i per una vora atribuïble al tipus Oberaden 74. La cronologia d'aquests materials ha fet pensar que aquests abocadors serien els emprats en les primeres etapes de funcionament del taller.

En el número 38 del mateix carrer es trobà un nou abocador, al costat d'on s'havia documentat el forat de pal excavat en el sauló. En aquest cas es tractava d'un dipòsit de 90 cm de potència, format essencialment per fragments ceràmics barrejats amb plaques de tovot amb indicis de sobrecoció. Del material identificat tipològicament, la major part pertany al tipus Dressel 2-4, amb la presència d'algunes vores de Pascual 1 —dues de les quals presenten la marca VSVL.VEIENT— i de Dressel 7-11. Així mateix, també foren recuperats fragments de *dolium*, ceràmica

comuna, *terra sigillata* aretina del tipus Goud.38, *terra sigillata* sud-gàl·lica dels tipus Drag.24-25, Drag.29 i Drag.37, i *terra sigillata marmorata* del tipus Drag.27. És interessant remarcar el fet que, en el nivell inferior de l'abocador, en contacte amb la roca natural, només hi havia fragments de Pascual 1, Dressel 7-11 i *terra sigillata* aretina del tipus Halt.14.

Les excavacions més recents, realitzades l'any 2000, tornaren a documentar un altre abocador d'àmfores; en aquest cas localitzat en la cantonada formada pels carrers d'Isaac Peral i de Xàvega. Els materials d'aquesta escombrera —*tegulae*, Pascual 1, Dressel 2-4, Dressel 7-11 i ceràmica comuna— haurien estat dipositats, segons Llinàs i Merino (2002), al llarg de la primera meitat del segle I dC.

Junt als abocadors que acabem d'esmentar i que han estat documentats arqueològicament, també hi ha constància de dos conjunts més de materials descontextualitzats (Barti *et al.* 2004: 86-89). Un d'ells, procedent del número 47 del carrer de Monturiol, estaria format majoritàriament per fragments d'àmfora Dressel 2-4, alguns amb indicis de sobrecoccions. També en formarien part alguns fragments de materials de construcció, una vora de *dolium* i una d'àmfora tipus Laietana 1/Tarraconense 1. L'altre conjunt hauria aparegut durant unes obres realitzades en els anys 80 en la construcció d'una habitatge en la cantonada meridional dels carrers de Xaloc i de Llevant. L'única cosa que se'n sap és que es tractaria d'un conjunt formant per una gran quantitat —sense especificar— de fragments d'àmfora tipus Gauolise 4 i, en menor quantitat, de Pascual 1, materials de construcció, ceràmica comuna i ceràmica de cuina africana. Així doncs, tot i haver-hi materials datables en el canvi d'Era, els fragments més abundants permeten estimar unes datacions que arribarien fins el segle II dC i primera meitat del III dC (Barti *et al.* 2004: 92).

Pel que respecta als dissenys amforals documentats en contextos estratigràfics relacionats amb el taller, la Laietana 1/Tarraconense 1 és la que aporta una cronologia més antiga, malgrat que, fins a on nosaltres sabem, la seva producció local no ha estat demostrada. La seva presència en aquest jaciment es limita a dos fragments de vora; un recuperat en l'excavació preventiva de l'any 1999 en la cantonada dels carrers de Llevant i Monturiol, i l'altre procedent del conjunt descontextualitzat del carrer de Monturiol.

El disseny amforal que té més presència en els primers moments d'activitat del taller és la Pascual 1, per bé que, tant entre el material recuperat a l'interior dels forns com en els abocadors, hi apareix conjuntament amb el tipus Dressel 2-4 —i en alguns casos amb Dressel 7-11—, cosa que indicaria un deposició conjunta d'aquests dissenys. L'únic conjunt on apareixen exclusivament Pascual 1 és el recollit per Badia (1966). Sembla interessant remarcar el fet que entre els primers fragments dipositats en l'escombrera localitzada en el número 40 del carrer d'Isaac Peral s'hi troben Pascual 1 i Dressel 2-4, mentre que en els fases inicials de l'abocador del número 38, el material recuperat és de Pascual 1 i Dressel 7-11.

Un altre disseny identificat a Llafranc, per bé que no se n'ha documentat cap perfil sencer, és el Gauloise 4. La major part de fragments d'aquest tipus formaven part del conjunt descontextualitzat procedent de la cantonada dels carrers de Xaloc i de Llevant. També apareix entre el material de l'abocador del número 40 del carrer d'Isaac Peral, datats de finals del segle II dC i mitjan segle III dC.

Per finalitzar farem referència a la troballa testimonial d'altres dos tipus amforals. D'una banda, un fragment de vora atribuït per Barti i col·laboradors (2004: 116) al tipus Beltran IIA, del qual desconexem la seva procedència exacta. D'altra, un fragment de vora del tipus Oberaden 74, procedent de l'abocador del número 31 del carrer d'Isaac Peral (Barti i Plana 1993).

En definitiva, dels cinc abocadors dels que se'n coneix el context arqueològic, tots se situen en el carrer d'Isaac Peral (números 21bis, 31, 38, 40 i cantonada amb carrer de Xàvega). Tots, a excepció del situat en el número 40 que hauria funcionat fins a mitjan segle III dC, varen ésser utilitzats molt probablement des de finals del segle I aC fins el segle I dC. Això ha fet pensar que el moment de màxima producció del taller se situaria al llarg del segle I dC. Malgrat tot, cal tenir present que no es coneixen les restes ceràmiques associades als forns de planta circular que funcionarien des de mitjan segle II dC. Les restes d'estructures més antigues relacionades amb la producció d'àmfores es troben situats en una àrea delimitada avui dia pels carrers de Marquès de Llafranc, de Llevant, d'Isaac Peral i de Monturiol. Aquestes instal·lacions estarien ubicades a pocs metres al nord-oest de l'edifici que hauria funcionat com a celler, que presenta la mateixa orientació (SW-NE) que les estructures del taller i que les de

l'edifici a on es realitzaria el premsatge del raïm. Entre finals del segle I dC i inicis del segle II dC, algunes d'aquestes estructures són abandonades o remodelades, moment en què finalitza l'activitat associada als forns del carrer d'Isaac Peral. El paper predominant que semblen tenir les àmfores —Pascual 1, Dressel 2-4 i Dressel 7-11— en la producció del taller al llarg del segle I dC desapareix en favor d'altres produccions durant el segle II dC i part del III dC —ceràmica comuna i materials de construcció—, per bé que amb unes quantitats clarament inferiors.

#### 5.2.7.1 *Individus caracteritzats*

Procedents del centre productor de Llafranc han estat caracteritzats un total de 34 individus amforals, seleccionats pels arqueòlegs responsables dels materials recuperats en les intervencions dels anys 1988, 1999 i 2003 (Barti i Plana 1989, 1993; Barti *et al.* 2004). D'aquests individus, 30 s'identifiquen tipològicament amb el tipus Pascual 1 i els 4 restants amb el tipus Dressel 7-11. La referència dels individus caracteritzats apareix en la taula següent. Els dibuixos dels individus es presenten en l'Annex 2.

Referència	Tipus	Fragment analitzat	Context Arqueològic	Any d'excavació	Sigla
LLA001 LLA002 LLA003 LLA004 LLA005 LLA006 LLA007 LLA008	P1 P1 P1 P1 P1 P1 P1 P1	Pivot Pivot Nansa Nansa Panxa Panxa Panxa Panxa	Abocador C/ d'Isaac Peral, nº 34 i 36	2003	Llafranc03·1 Llafranc03·2 Llafranc03·3 Llafranc03·4 Llafranc03·5 Llafranc03·6 Llafranc03·7a Llafranc03·7b
LLA009 LLA010	P1 Dr 7-11	Vora Vora	Abocador C/ d'Isaac Peral, nº 38. Zona 2. UE-16	1989	LL·2·16·42 LL·2·16·41
LLA011 LLA012	P1 P1	Nansa Nansa	Abocador C/ d'Isaac Peral, nº 38. Zona 1. UE-11	1988	LL·1·11·25a LL·1·11·25b
LLA013	Dr 7-11	Vora	Abocador C/ d'Isaac Peral, nº 38. Zona 1. UE-3	1988	LL·1·3·439
LLA014 LLA015 LLA016	P1 P1 P1	Vora Vora Vora	Abocador C/ d'Isaac Peral, nº 38. Zona 2. UE-26	1989	LL·2·26·7 LL·2·26·8 LL·2·26·9
LLA017	P1	Vora	Abocador C/ d'Isaac Peral, nº 38. Zona 1. UE-10	1989	LL·1·10·53
LLA018 LLA019 LLA020 LLA021 LLA022	P1 P1 P1 P1 Dr 7-11	Nansa Nansa Vora Vora Vora	Abocador C/ d'Isaac Peral, nº 38. Zona 2. UE-25	1989	LL·2·25·14a LL·2·25·14b LL·2·25·6 LL·2·25·7 LL·2·25·8
LLA023	P1	Vora	Abocador C/ d'Isaac Peral, nº 31. Sondeig 2. Estança C. E-2	1988	LL·88·1·152
LLA024 LLA025 LLA026 LLA027	P1 P1 P1 P1	Vora Vora Vora Nansa	Abocador C/ d'Isaac Peral, nº 31. Sondeig 2. Estança C. E-2 (terres negres)	1988	LL·88·1·120a LL·88·1·120b LL·88·1·121 LL·88·1·123
LLA028 LLA029 LLA030 LLA031 LLA032	P1 P1 P1 P1 Dr 7-11	Vora Vora Vora Vora Vora	Abocador C/ d'Isaac Peral, nº 31. Estructura 17. E-2	1988	LL·88·1·67 LL·88·1·67b LL·88·1·67c LL·88·1·67d LL·88·1·68
LLA033 LLA034	P1 P1	Vora Nansa	Abocador C/ d'Isaac Peral, nº 31. Sondeig 1. Estança C. Estrat final II	1988	LL·88·1·167 LL·88·1·169

Taula 4.7. Quadre resum dels individus caracteritzats del centre productor de Llafranc.

### 5.3 *Els centres receptors*

En el ja esmentat treball de Schiffer i Skibo (1987) s'estableixen models teòrics on s'incideix en els principals factors de situació que poden propiciar un canvi tecnològic. D'aquests, el principal resideix en allò que els autors defineixen com a una *modificació del camp funcional* (Schiffer i Skibo 1987: 598). En el marc de la teoria de la conducta (*behavioral theory*), aquest *camp funcional* s'ha d'entendre com el conjunt de competències que potencialment pot mostrar un sistema o un artefacte en el context d'una activitat. En conseqüència, les probabilitats que la configuració d'una tecnologia sigui modificada augmenten en un context de canvis en el model d'organització política i social d'una comunitat; en definitiva, en un context de canvis en les activitats habituals. Així doncs, el cas de la fundació *ex novo* d'una ciutat representa potencialment un exemple paradigmàtic de modificació de camp funcional (Mackay 1997); d'una banda entra en escena una nou marc d'activitats i, d'altra, comporta la projecció d'un nou espai d'aplicació per a les diferents tecnologies (Schiffer 2001).

Un punt d'inflexió pel que respecta l'urbanisme romà a la província *Tarraconensis* es pot situar, a grans trets, durant el primer quart del segle I aC. En aquest període es comencen a configurar el que seran algunes de les fundacions urbanes més importants del territori (*Baetulo, Iluro, Iesso, Emporiae, Palma*) i que semblen derivar d'un model planificat amb finalitats estratègiques i d'explotació agrària (Guitart 2004). En el nostre cas d'estudi s'han caracteritzat conjunts amforals procedents de tres d'aquests centres receptors: *Iluro, Emporiae* i *Palma*. Per bé que en els tres casos es tracta de ciutats romanes fundades aproximadament en el mateix període cronològic, els tres nuclis presenten diferències importants; d'una banda, el substrat poblacional és diferent en les tres fundacions i, d'altra, el diferent emplaçament geogràfic els situa en àmbits clarament diferenciats pel que respecte les rutes de distribució.

En aquest apartat es presenta una breu introducció als jaciments considerats. Concretament, l'atenció es centra en els contextos arqueològics d'on varen ésser recuperats els individus amforals mostrejats per a l'estudi arqueomètric.

### 5.3.1 El centre receptor d'*Iluro* (Mataró)

Les restes de la ciutat romana d'*Iluro* es troben en el subsòl de l'actual nucli històric de la ciutat de Mataró, capital de la comarca catalana del Maresme. El nucli històric d'aquesta ciutat està situat a sobre d'un promontori delimitat al nord-est i al sud-oest per dos desnivells relativament pronunciats i que, actualment, coincideix aproximadament amb l'àrea delimitada pel traçat dels carrers de la Riera, a l'est, de Bonaire, al nord, pels carrers de l'Hospital, de Sant Bonaventura i del Rierot, a l'oest, i pel carrer de Barcelona, al sud.



**Figura 26.** Localització dels contextos de procedència dels individus amforals caracteritzats de la ciutat d'*Iluro*. **1:** Carrer de Barcelona, 45; **2:** Carrer de Barcelona, 44; **3:** Plaça de la Peixateria; **4:** Carrer de Magí de Vilallonga, 10-12. L'àrea ombrejada representa el perímetre hipotètic de la ciutat romana alt-imperial (aproximadament 6 ha) (A partir de García *et al.* 2000).

La gènesi de la ciutat d'*Iluro* s'ha d'entendre com a part de l'estratègia geopolítica que acompanya el procés de conquesta militar romana d'aquesta part de la península Ibèrica. La seva fundació, com bé han argumentat García i col·laboradors (2000), és una culminació de la política de gestió i d'explotació territorial —i humana—, que aparentment vertebrarà i estimularà la producció de vi en l'àrea més immediata, actuant com a important centre consumidor. Però, quina era la configuració d'aquest territori abans de la fundació d'*Iluro*?

El registre arqueològic sembla revelar que des de principis del segle II aC s'experimenta un profund canvi en l'estratègia seguida en el disseny d'ocupació territorial. És en aquests moments en què se situa la repressió militar executada a ordres del cònsol romà Marc Ponci Cató per tal de posar fi a la insurrecció d'algunes comunitats iberes; entre el 206-205 i el 197-196 aC es produeixen els episodis més esmentats a les fonts. Fins a aquests moments, i des d'aproximadament finals del segle V aC, s'havia anat desenvolupant un marc polític i territorial que mostrava ja característiques pròpies d'estructures estatals (Sanmartí 2004: 23-32). La documentació existent palesa l'existència de patrons d'assentament complexos que configuren el que sembla una jerarquia d'assentaments amb, almenys, tres nivells diferents d'administració político-territorial. El centre polític del territori laietà hauria estat l'*oppidum* de Burriac, un assentament urbà fortificat, d'aproximadament 9 ha de superfície, localitzat a menys de 7 km a l'est de la ciutat romana, i al voltant del qual s'establiren altres assentaments de menor dimensió, d'entre 2 i 4 ha, que probablement haurien desenvolupat diverses funcions econòmiques o d'administració. En una segona línia, a l'interior de la serralada litoral, es troben dispersos una sèrie d'assentaments, d'entre 0.5 i 1 ha, ubicats en les cotes més altes que s'obren a la depressió prelitoral. Aquesta ubicació hauria facilitat el control visual de les grans àrees d'explotació agrícola situades en les valls, així com dels passos naturals que unien l'interior amb els *oppida* situats a la costa. Junt a aquesta configuració dels assentaments, aquest període de l'Ibèric mitjà fins a l'inici del segle II aC es caracteritza per una alta densitat de població (Sanmartí 2004, i referències en el seu interior). Probablement lligat a aquest



fet s'hauria d'interpretar, d'una banda, l'augment significatiu respecte del període anterior de les importacions —fonamentalment productes envasats en àmfores púnico-ebussitanes i ceràmiques de cuina de tipus grec i púnic— i, d'altra, la proliferació i diversificació de l'utilatge agrícola de ferro, així com del nombre i de la capacitat de les sitges destinades a l'emmagatzematge de productes agraris.

En contextos datats del primer quart del segle II aC apareixen clars indicis d'una desestructuració d'aquest model. Desapareix el cordó dels *oppida* situats a l'interior, alhora que es constata el desmantellament de les estructures defensives d'aquells assentaments que continuen habitats (Olesti 2000). És en aquest moment en què s'inicia l'ocupació de la plana litoral, implantant un model basat en la dispersió d'assentaments rurals, que assolirà la major densitat durant el període julio-clàudi (Ruestes 2002: 834).

Dins d'aquesta primera meitat del segle II aC es situa l'assentament urbà de Ca l'Arnau, que representaria probablement, junt a Burriac, el primer centre d'administració romana del territori laietà (Garcia *et al.* 2000). Les dades del registre arqueològic permet estimar un període de funcionament d'aquests dos centres fins a principis del segle I aC. A partir d'aquest moment es comença a configurar l'assentament urbà d'*Iluro*, que prendrà el relleu com a principal centre polític i administratiu (Llovet 2000; Olesti 1995; Prevosti 1981). En aquest sentit, els contextos arqueològics de l'interior de la ciutat que mostren una cronologia més antiga daten del primer quart del segle I aC (Cela 1998). És precisament d'aquests contextos inicials d'on provenen els individus amforals mostrejats per a la caracterització arqueomètrica.

El primer context el representa l'estança domèstica documentada arran de la intervenció practicada l'any 1996 en el solar del número 45 del carrer de Barcelona (Cela 1998). Aquesta estança mostra dues fases de construcció diferenciades. La primera està representada per un mur construït amb blocs arrodonits de roca granítica disposat directament sobre el terreny geològic. Entre els materials ceràmics documentats en destaquen un bol de ceràmica Campaniana A tardana del tipus Lamb.27, diversos fragments de Campaniana B de Cales assimilables als tipus Lamb.1, Lamb.5, Lamb.7 i Lamb.10, així com una cassola de cuina a la qual s'atribueix una provenença itàlica i diversos tipus de ceràmica ibèrica. A partir d'aquest conjunt ceràmic, la cronologia proposada per a aquesta primera fase se situa en el 85-70 aC.

Durant la segona fase, que se situa cronològicament en el segon quart del segle I aC, s'acaba de configurar tot l'espai domèstic. Les restes es corresponen a les d'un mur construït amb pedres lligades amb morter, un paviment i una sitja. Pel que respecta a la ceràmica, en els estrats d'amortització d'aquest àmbit apareixen diversos fragments de Campaniana C, dues llànties de volutes i dos fragments d'àmfora Laietana1/Tarraconense 1, el que suggereix una cronologia aproximada de la deposició del darrer terç del segle I aC.

A finals de l'any 1998 s'incià una intervenció preventiva a pocs metres d'aquest àmbit, en el subsòl del número 44 del mateix carrer (Jiménez 1999). Com en el cas anterior, les estructures documentades d'època romana suggereixen dues fases d'ocupació. La primera fase també se situa en període tardo-republicà i està representada per les restes d'un mur de pedra, un paviment de terra batuda i per dos elements interfacials que haurien servit per a l'encaix de dues *dolia*. Les úniques restes ceràmiques són dues vores de ceràmica comuna ibèrica amb engalba, dues nanses d'àmfora itàlica i un fragment de ceràmica de vernís negre de Cales. Aquest àmbit s'amortitza entre el 15-10 aC i el canvi d'Era i es construeix un nou mur. El material associat a aquesta segona fase està format per Campaniana A (Lamb.5, 27, 31, 33), Campaniana C (una pàtera Lamb.5), ceràmica de vernís negre de Cales, parets fines (Mayet II, III, XI, XII, XXXV), *terra sigillata* itàlica (Atlante XII, Consp.1 i Consp.7), ceràmica comuna ibèrica i romana. Pel que respecta al material amforal, els individus documentats en aquesta fase s'identifiquen amb possibles produccions itàliques (Dressel 1A, 1B i Lamboglia 2), bètiques (Oberaden 83, Haltern 70 i Dressel 7) i tarraconenses (Dressel 1, Laietana 1/Tarraconense 1, Pascual 1 i Oberaden 74).

El tercer context del qual prové el conjunt amforal analitzat és el de la Plaça de la Peixateria (Cerdà *et al.* 1997: 234-239). Una intervenció arqueològica preventiva realitzada l'any 1987 va documentar un potent estrat d'abocament sense cap estructura associada. Entre el material ceràmic en destaca la presència de Campaniana A (Lamb.5, 31), Campaniana B (Lamb.1, 3, 5, 7), parets fines (Mayet II, III, XII, XIV), ceràmica grisa ibèrica, ceràmica de cuina romana i *terra sigillata* (Goud.1, 2, 6, 7, 12, 16). Entre el material amforal en destaca la presència d'àmfores púniques del tipus Mañà C-2, els tipus Dressel 12 i Haltern 70, així com Dressel 1, Laietana 1/Tarraconense 1 i Pascual 1.

La cronologia proposada per a la deposició d'aquest conjunt és del darrer quart del segle I aC.

Finalment, també han estat caracteritzades àmfores recuperades en contextos arqueològics documentats en el solar dels números 10-12 de carrer de Magí de Vilallonga. La primera fase d'aquest sector està representada per quatre sitges excavades en el terreny geològic, que podrien ésser les restes d'un assentament ibèric del segle II aC i, per tant, anteriors a la fundació de la ciutat (Cela i Bosch de Dòria 2002). De les quatre sitges, només es va documentar material ceràmic en el rebliment d'una d'elles, format per ceràmica comuna ibèrica, Campaniana A (Lamb.5, 27), Campaniana B (Lamb.5), i dos fragments d'àmfora (Dressel 1C i Lamboglia 1), materials que suggereixen una cronologia del primer quart del segle I aC.

En una segona fase, entre el segon quart i mitjan segle I aC, es practica una fossa que retalla part de les sitges amortitzades en la fase anterior i es construeix una claveguera a partir de *tegulae* i amb una coberta de pedres planes de geometria irregular. El rebliment de la fossa suposa una tercera fase, la cronologia de la qual s'estima d'entre mitjan i el tercer quart del segle I aC. Durant aquesta mateixa fase estaria en funcionament un magatzem de *dolia*, documentat en el subsòl del número 8 del mateix carrer. Aquest espai deixa de funcionar com a magatzem en època d'August, el que marca l'inici d'una quarta fase de construcció, que s'extén fins el primer quart del segle I dC. En aquesta fase es construeix un mur porticat, el qual s'interpreta com a façana d'un *decumanus*. Així, assumint el traçat hipotètic de la ciutat (Garcia *et al.* 2000: 42), el *decumanus* s'hauria de situar entre aquesta façana i el límit septentrional del solar del número 8 d'aquest mateix carrer. Paral·lelament, l'àrea que ocupava la fossa és ocupada per un paviment de terra batuda i per un mur construït amb pedres, *tegulae* i un gran bloc de granit reaprofitat de la fase anterior.

#### 5.3.1.1 *Individus caracteritzats*

El mostreig dels individus procedents d'aquest centre es va realitzar entre els materials dipositats en el magatzem del Museu de Mataró. El criteri seguit inclou la representativitat del rang de fàbriques identificades macroscòpicament a ull nu entre els diferents dissenys formals. Així, procedents de la ciutat romana d'*Iluro* han estat

caracteritzats un total de 48 individus amforals, recuperats en intervencions arqueològiques realitzades els anys 1987, 1997, 1998 i 1999 (Cela 1998; Cela i Bosch 2002; Cerdà *et al.* 1997; Garcia *et al.* 2000). D'aquests individus, 15 s'han identificat tipològicament com a Dressel 1, 2 com a Dressel 7-11, 1 com a Lamboglia 2, 1 com a Oberaden 74, 11 com a Laietana 1/Tarraconense 1 i 18 com a Pascual 1. La referència dels individus caracteritzats apareix en la taula següent. Els dibuixos dels individus es presenten a l'Annex 2.

Referència	Tipus	Fragment analitzat	Context Arqueològic	Any d'excavació	Sigla
PAL061	Dr 1	Vora	C/ de Magí de Vilallonga, nº 10-12.	1999	MAG-99-1060-33
PAL062	Dr 1	Vora	UE-1060		MAG-99-1060-34
PAL063	Dr 1	Vora	Fase III		MAG-99-1060-36
PAL064	Dr 1	Pivot*	C/ de Magí de Vilallonga, nº 10-12. UE-1058/ 1082/1086 Fase IV	1999	MAG-99-1082
PAL065	P1	Vora			MAG-99-1058-70
PAL066	P1	Vora			MAG-99-1080-71
PAL067	P1	Vora			MAG-99-1080-72
PAL068	P1	Vora			MAG-99-1080-73
PAL069	P1	Vora			MAG-99-1080-74
PAL070	P1	Vora			MAG-99-1080-76
PAL071	Dr 1	Vora			MAG-99-1080-78
PAL072	L1/T1	Vora			MAG-99-1080-82
PAL073	Dr 7-11	Vora			MAG-99-1080-83
PAL074	Dr 7-11	Vora			MAG-99-1080-84
PAL075	P1	Vora	MAG-99-1086-77		
PAL076	Dr 1	Vora	Plaça de la Peixateria UE-2005	1987	PP-87-2005-93
PAL077	L1/T1	Vora			PP-87-2005-98
PAL078	L1/T1	Vora			PP-87-2005-99
PAL079	L1/T1	Vora			PP-87-2005-101
PAL080	L1/T1	Vora			PP-87-2005-102
PAL081	L1/T1	Vora			PP-87-2005-103
PAL082	L1/T1	Vora			PP-87-2005-104
PAL083	L1/T1	Vora			PP-87-2005-106
PAL084	P1	Vora			PP-87-2005-107
PAL085	P1	Vora			PP-87-2005-108
PAL086	P1	Vora			PP-87-2005-109
PAL087	P1	Vora			PP-87-2005-110
PAL088	P1	Vora			PP-87-2005-111
PAL089	P1	Vora	Plaça de la Peixateria UE-2006	1987	PP-87-2006-21
PAL090	P1	Vora			PP-87-2006-23
PAL091	P1	Vora			PP-87-2006-24
PAL092	L1/T1	Vora	C/ de Barcelona, 45 UE-4030 Fase II	1997	B-45-4030-26
PAL093	L1/T1	Vora			B-45-4030-27
PAL094	L1/T1	Vora	C/ de Barcelona, 44 UE-1057 Fase II	1998/1999	BAR-44-98/99-1057-38
PAL095	P1	Vora			BAR-44-98/99-1057-39
PAL096	P1	Vora			BAR-44-98/99-1057-40
PAL097	Dr 1	Vora	C/ de Barcelona, 44 UE-1069 Fase II	1998/1999	BAR-44-98/99-1069-41
PAL098	Dr 1	Vora			BAR-44-98/99-1069-19
PAL099	Dr 1	Vora			BAR-44-98/99-1069-52
PAL100	Lamb.2	Vora			BAR-44-98/99-1069-54
PAL101	Dr 1	Vora			BAR-44-98/99-1069-51
PAL102	Dr 1	Vora			BAR-44-98/99-1069-56
PAL103	Ob74	Vora			BAR-44-98/99-1069-57
PAL104	P1	Vora			BAR-44-98/99-1069-58
PAL105	Dr 1	Coll			BAR-44-98/99-1069-60
PAL106	Dr 1	Vora			C/ de Barcelona, 44 UE-1095 Fase II
PAL107	Dr 1	Carena	BAR-44-98/99-1095-27		
PAL108	Dr 1	Carena	BAR-44-98/99-1095-1026		

**Taula 4.8.** Quadre resum dels individus caracteritzats del centre receptor d'Iluro. \*: marca PEC[...]?

### 5.3.2 El centre receptor d'*Emporiae* (L'Escala-Empúries)

La ciutat romana d'*Emporiae* es troba a l'actual localitat de l'Escala, a la comarca catalana de l'Alt Empordà. Per bé que la presència d'assentaments humans en aquesta zona es documenta des d'època Prehistòrica, són les ciutats grega i, especialment, la romana, les que clarament han rebut més atenció per part dels investigadors (Aquilué *et al.* 2002, 2007; Marcet i Sanmartí 1989).



**Figura 27.** Localització dels contextos de procedència dels individus amforals caracteritzats de la ciutat d'*Emporiae*. **1:** *tabernae* 2800; **2:** *cardo* B; **3:** Fòrum. L'àrea ombrejada representa el perímetre hipotètic de la ciutat romana (aproximadament 21 ha) (A partir d'Aquilué *et al.* 2002).

La ciutat romana d'*Emporiae* s'estableix pocs metres a l'est del que era la ciutat focea d'*Emporion*, fundada al voltant del segle VI aC. Tradicionalment s'ha interpretat que l'assentament grec jugà el paper d'aliat de Roma en el decurs de la segona guerra Púnica i que

va ésser precisament en el seu port on desembarcà l'exercit romà que, encapçalat per Gneu Scipió, havia d'atacar la reraguarda de l'exèrcit cartaginès. De la mateixa manera, seria en el mateix port a on hauria atracat la flota romana que, a ordres del cònsol Marc Ponci Cató, havia de sufocar les insurreccions de les comunitats íberes entre el 197-196 aC. Per tal de controlar-ne permanentment aquest indret estratègic, el mateix Cató hauria ordenat instal·lar un campament militar a pocs metres de la ciutat focea. És precisament en aquest mateix indret on, a començaments del segle I aC, es comença a construir la ciutat romana.

*Emporiae* representa un exemple paradigmàtic de fundació romana. La ciutat es projecta a l'interior d'un perímetre enmurallat d'aproximadament 21 ha, seguint una disposició urbanística ortogonal a partir d'un esquema recurrent en altres fundacions romanes contemporànies: illes de planta rectangular de 2 x 1 *actus* —70.96 x 35.48 m— (Orfila i Cau 2004). Així mateix, el centre polític, econòmic i religiós de la ciutat es concentrava en l'àrea del fòrum, d'on foren recuperades les àmfores caracteritzades en aquest treball en les campanyes de 1998 i 1999. L'extrem nord d'aquesta plaça estava presidida per un temple dedicat, probablement, al culte de la tríada capitolina, mentre que al costat sud es disposaren diverses *tabernae*, la major part obertes cap a la plaça.

Per bé que es desconeix quin hauria estat l'estatut jurídic en el moment de fundació, en un moment indeterminat entre època de Cèsar i d'August la ciutat esdevé *municipium Emporiae* (Marcet i Sanmartí 1989: 14). A partir d'aquest moment s'inicia un procés de monumentalització de l'àrea del fòrum. Així, devers el darrer quart del segle I aC es remodela aquest espai i esdevé una plaça tancada envoltada per un pòrtic —l'*ambulacrum*—, al costat oriental del qual s'hi van edificar la basílica i la cúria, edificis destinats a la política i a l'administració judicial.

Les intervencions arqueològiques practicades durant les campanyes de 1998 i 1999 es centraren en diversos sectors del fòrum amb la intenció d'aportar noves dades sobre la formació i el funcionament de l'àrea pública central de la ciutat romana (Aquilué *et al.* 2002). Les dades obtingudes en campanyes anteriors feien palesa l'existència d'un espai destinat a l'emmagatzematge de cereal mitjançant un sistema de sitges anterior a la monumentalització de l'àrea del fòrum. Per això es pretenia definir la continuació dels nivells de circulació i la possible presència d'estructures associades a

aquesta ocupació de l'espai com a zona d'emmagatzematge a l'extrem sud. Així, es va poder constatar que, almenys pel que respecta el costat oriental, els límits del camp de sitges sobrepassava els del fòrum posterior. Concretament, durant aquestes campanyes les intervencions es varen centrar, d'una banda, a la darrera *taberna* que defineix l'ala oest del fòrum. El material recuperat va permetre estimar la data de la seva construcció durant el període augustal, destacant la presència de ceràmiques de vernís negre Campaniana A, B, ceràmica de cuina ibèrica, itàlica, *terra sigillata* (Consp. 12.1, 14), així com àmfores dels tipus Dressel 1, Laietana 1/Tarraconense 1, Pascual 1, Dressel 12 i Haltern 70. Per als nivells inferiors es proposà una data del segon quart del segle I aC, a partir d'un conjunt format per Campaniana A, B i C, *terra sigillata* de vernís negre, llànties baix-republicanes, ceràmica de cuina itàlica, plats de roig pompeïà, ceràmica de parets fines (Mayet 2), ceràmiques ibèriques amb engalba blanca, àmfores Dressel 1 i diversos tipus amforals ibèrics i púnico-ebussitanes (Aquilué *et al.* 2002). D'altra banda, també fou excavada una cala a l'interior del *cardo* B, un dels principals eixos viaris que recorre la ciutat de nord a sud i que defineix el límit oriental del fòrum. Es va documentar un tram del mur que tanca per l'est la basílica i la cúria, així com el contrafort exterior de la cúria. Els estrats associats a la via i a l'estructura urbana que defineix la cúria i les *insulae* adjacents aportaren materials amb cronologies del període baix-republicà i augustal.

### 5.3.2.1 *Individus caracteritzats*

Procedents de la ciutat romana d'*Emporiae* han estat caracteritzats un total de 47 individus amforals, seleccionats pels arqueòlegs responsables dels materials recuperats en intervencions arqueològiques realitzada l'any 1998 i 1999 (Aquilué *et al.* 2002, 2007). D'aquests individus, 6 han estat identificats tipològicament com a Dressel 1, 15 com a Laietana 1/Tarraconense 1 i 26 com a Pascual 1. La referència dels individus caracteritzats apareix en la taula següent. Els dibuixos dels individus es presenten en l'Annex 2.

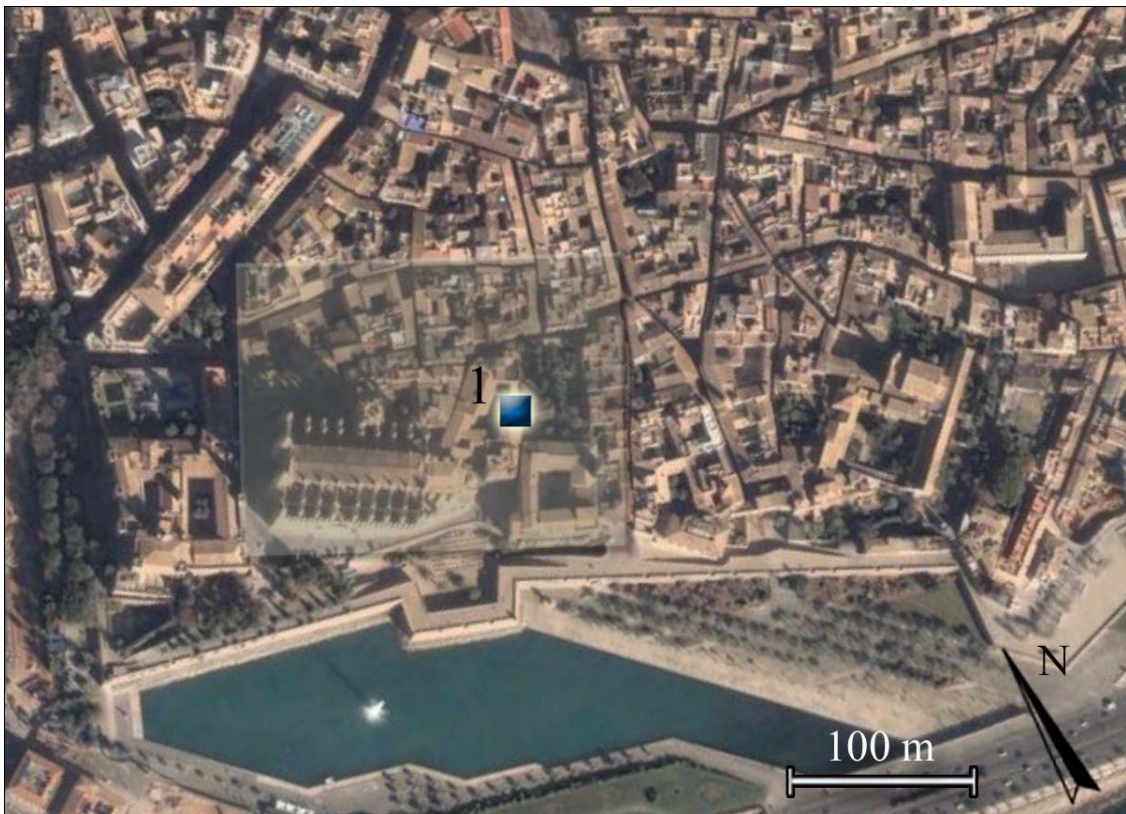


Referència	Tipus	Fragment analitzat	Context Arqueològic	Any d'excavació	Sigla
EMP064 EMP065	Dr 1 Dr 1	Vora Carena	Fòrum	1998	98·CR·F·2812·60 98·CR·F·4777·778
EMP066	Dr 1	Carena	<i>Cardo B</i>	1999	99·CR·CB·1032·267
EMP067 EMP068 EMP069	Dr 1 Dr 1 Dr 1	Carena Coll Vora	<i>Tabernae</i>	1999	99·CR·F·2827 99·CR·F·2833 99·CR·F·2848·14
EMP070 EMP071 EMP072 EMP073 EMP074 EMP075	L1/T1 L1/T1 L1/T1 L1/T1 L1/T1 L1/T1	Nansa Carena Carena Coll Vora Vora	Fòrum	1998	98·CR·F·4655·302 98·CR·F·4655 98·CR·F·4655 98·CR·F·4655 98·CR·F·4757·67 98·CR·F·4757·68
EMP076 EMP077 EMP078 EMP079 EMP080 EMP081 EMP082 EMP083	L1/T1 L1/T1 L1/T1 L1/T1 L1/T1 L1/T1 L1/T1 L1/T1	Vora Vora Pivot Vora Nansa Vora Vora Vora	<i>Tabernae</i>	1999	99·CR·F·2810·247 99·CR·F·2810·249 99·CR·F·2823·99 99·CR·F·2827·206 99·CR·F·2844·33 99·CR·F·2844·34 99·CR·F·2850·24 99·CR·F·8734·95
EMP084	L1/T1	Vora	<i>Cardo D?</i>	2002	02·CR·CD·1005·36
EMP085 EMP086 EMP087 EMP088 EMP089 EMP090 EMP091 EMP092 EMP093 EMP094 EMP095 EMP096 EMP097 EMP098	P1 P1 P1 P1 P1 P1 P1 P1 P1 P1 P1 P1 P1 P1	Nansa Nansa Nansa Vora Nansa Coll? Carena Nansa Pivot Coll Pivot Nansa Vora Vora?	Fòrum	1998	98·CR·F·1115·431 98·CR·F·1115·435 98·CR·F·1125·56 98·CR·F·1157·59 98·CR·F·1226·177 98·CR·F·1246·123 98·CR·F·1246·146 98·CR·F·1246·148 98·CR·F·1246·149 98·CR·F·1254·401 98·CR·F·1259·26 98·CR·F·2812·59 98·CR·F·3005·36 98·CR·F·8918·14
EMP099 EMP100 EMP101 EMP102 EMP103	P1 P1 P1 P1 P1	Nansa Pivot Carena Nansa Carena	<i>Cardo B</i>	1999	99·CR·CB·1028·99 99·CR·CB·1031·59 99·CR·CB·1032·252 99·CR·CB·1032·256 99·CR·CB·1032·272
EMP104 EMP105 EMP106 EMP107 EMP108 EMP109 EMP110	P1 P1 P1 P1 P1 P1 P1	Vora Pivot Carena Pivot Pivot? Carena Carena	<i>Tabernae</i>	1999	99·CR·F·2810·238 99·CR·F·2844·36 99·CR·F·2845·77 99·CR·F·2845·78 99·CR·F·2845·79 99·CR·F·2845·95 99·CR·F·2845·97

Taula 4.9. Quadre resum dels individus caracteritzats del centre receptor d'Emporiae.

### 5.3.3 El centre receptor de *Palma* (Ciutat de Mallorca)

La conquesta romana de l'illa de Mallorca posa fi a un període que, des de finals del segle V aC, havia suposat la consolidació de la colonització púnica de l'illa (Guerrero 1997). Tradicionalment s'ha vist la campanya militar comandada pel cònsol Quint Cecili Metel el 123 aC com l'inici de la conquesta romana de Mallorca. Com ja havia succeït en l'annexió d'altres territoris, aquesta campanya s'emmarca en el discurs eufemístic de *bellum iustum* que, en aquest cas concret, s'articula al voltant dels problemes provocats per la pirateria al transport marítim entre les penínsules ibèrica i itàlica (veure García i Sánchez 2000).



**Figura 28.** Localització del context de procedència dels individus amforals caracteritzats de la ciutat de *Palma*. **1:** *Can Montanyancs-Palau Episcopal*. L'àrea ombrejada representa el perímetre hipotètic de la ciutat romana entorn la primera meitat del segle I aC (aproximadament 3 ha) (A partir de (García-Delgado 2000: 83).

Un any després de la intervenció militar romana, l'illa de Mallorca queda adscrita jurídicament a la província *Hispania Citerior* i s'estableixen dues fundacions de nova planta; *Palma* —que es trobaria en el subsòl de l'actual capital de l'illa— i *Pollentia* —localitzada a l'actual municipi d'Alcúdia, al nord de l'illa. Com succeeix amb els casos d'*Iluro* i d'*Emporiae*, es desconeix quin hauria estat l'estatut jurídic d'aquests nous assentaments en el moment de la seva fundació. En qualsevol cas és important tenir present que els contextos estratigràfics d'època romana més antics que s'han documentat tant a *Palma* com a *Pollentia* indiquen unes cronologies aproximades de finals del primer quart del segle I aC (Cau i Esther 2003). Així, s'ha plantejat la hipòtesis que els primers nuclis s'haurien configurat com a simples assentaments militars —*castella*. Posteriorment, tal vegada a rel del final de les guerres sertorianes, s'hauria iniciat un desenvolupament urbà en sentit estricte al qual, vers el tercer quart del segle I aC, s'hauria dotat de la condició jurídica de *coloniae* (García i Sánchez 2000).

Tal com succeeix amb el cas d'*Iluro*, les dades arqueològiques relatives a la ciutat romana de *Palma* provenen fonamentalment d'intervencions preventives. En aquest sentit, és interessant citar el recent treball de Cau (2004) en què realitza un recull de les diverses hipòtesis plantejades entorn al possible traçat de la ciutat romana i on també se sintetitzen els resultats obtinguts de les intervencions realitzades en els darrers anys. Una d'aquestes intervencions és la practicada l'any 1998 amb motiu d'unes obres de reforma del Palau Episcopal de Palma i que, de manera paral·lela, afectaren també el solar veí de Can Montanyancs, entre els carrers de Sant Bernat i de Palau. En aquesta intervenció es varen documentar els nivells més antics que poden ésser relacionats amb estructures de la ciutat romana. Els materials ceràmics presenten unes cronologies de devers el primer quart del segle I aC; entre aquests en destaca un conjunt d'àmfores que presenta un repertori propi d'època tardo-republicana i alto-imperial, i que és l'analitzat en el marc d'aquest treball.

Malauradament, no es poden aportar dades més precises sobre els materials documentats en aquests contextos donat que la memòria d'excavació, a dia d'avui, no ha estat finalitzada. En qualsevol cas, el que sembla clar és que els contextos arqueològics que es poden relacionar amb els moments més antics de la ciutat romana

de *Palma* presenten una cronologia similar a la que es proposa per als materials més antics documentats en el fòrum de *Pollentia* (Cau 2003). Per tant, les cronologies més antigues que proporciona el registre arqueològic per a ambdues ciutats se situen entre 40 i 50 anys després de la data de fundació esmentada a les fonts literàries.

#### 5.3.3.1 *Individus caracteritzats*

El mostreig dels individus procedents d'aquest centre es va realitzar entre els materials dipositats en el magatzem del Museu de Mallorca. El criteri seguit inclou la representativitat del rang de fàbriques identificades macroscòpicament a ull nu entre els diferents dissenys formals. Així, procedents de la ciutat romana de *Palma* han estat caracteritzats un total de 31 individus amforals, recuperats en la intervenció arqueològica realitzada l'any 1998 en el Palau Episcopal i en el solar veí de Can Montanyancs. D'aquests individus, 7 han estat identificats tipològicament com a Greco-Itàliques, 16 com a Dressel 1, 2 com a Laietana 1/Tarraconense 1 i 6 com a Pascual 1. La referència dels individus caracteritzats apareix en la taula següent. Els dibuixos dels individus es presenten en l'Annex 2.

Referència	Tipus	Fragment analitzat	Context Arqueològic	Any d'excavació	Sigla
CMA001	G-I	Vora	UE1062	1998	CM98·UE1062
CMA002	G-I	Vora			CM98·UE1062
CMA003	G-I	Vora			CM98·UE1062
CMA004	G-I	Vora			CM98·UE1062
CMA005	Dr 1	Vora			CM98·UE1062
CMA006	Dr 1	Vora			CM98·UE1062
CMA007	G-I	Vora			CM98·UE1062
CMA008	Dr 1	Vora			CM98·UE1062
CMA009	Dr 1	Vora			CM98·UE1062
CMA010	Dr 1	Vora			CM98·UE1062
CMA011	G-I	Vora			CM98·UE1062
CMA012	Dr 1	Vora			CM98·UE1062
CMA013	G-I?	Vora			CM98·UE1062
CMA014	Dr 1	Vora			CM98·UE1062
CMA015	Dr 1	Vora			CM98·UE1062
CMA016	Dr 1	Vora			CM98·UE1062
CMA017	Dr 1	Vora			CM98·UE1062
CMA018	Dr 1	Vora			CM98·UE1062
CMA019	Dr 1	Vora	UE1087	1998	CM98·UE1087
CMA020	Dr 1	Vora	UE4035	1998	CM98·UE4035
CMA021	Dr 1	Vora	UE5121	1998	CM98·UE5121
CMA022	Dr 1	Vora			CM98·UE5121
CMA023	P1	Vora	UE1091	1998	CM98·UE1091
CMA024	P1	Vora			CM98·UE1091
CMA025	P1	Vora			CM98·UE1091
CMA026	P1	Vora			CM98·UE1091
CMA027	L1/T1	Vora	UE1089	1998	CM98·UE1089
CMA028	L1/T1	Vora			CM98·UE1089
CMA029	P1	Pivot	UE1088	1998	CM98·UE1088
CMA030	P1	Nansa	UE1085	1998	CM98·UE1085
CMA031	Dr 1	Vora			CM98·UE1085

**Taula 4.10.** Quadre resum dels individus caracteritzats del centre receptor de *Palma*.

# CAPÍTOL 6

---

## TÈCNIQUES I RUTINA ANALÍTICA

### 6.1 *Preliminar*

**E**n el primer capítol d'aquesta tesi argumentàvem quins eren els factors que, des de la nostra perspectiva, feien necessària una aproximació arqueomètrica en l'estudi del canvi tecnològic. Hem exposat com la ceràmica, i per extensió qualsevol altra manifestació tecnològica, està modelada en funció d'una sèrie de compromisos —econòmics, ideològics, socials, polítics, tècnics—, i que és precisament aquest caràcter multidimensional el que fa necessari un estudi arqueomètric; sols d'aquesta manera es pot iniciar una aproximació al conjunt de competències i compromisos que configuren una tecnologia i avaluar-ne el seu canvi al llarg del temps i l'espai. Així, l'estudi arqueomètric ha de permetre, a partir de la caracterització de les competències de la tecnologia i del modelatge posterior dels compromisos, aprofundir en els factors de situació concrets que haurien condicionat la seva producció i el seu consum.

Per tal de caracteritzar les competències tècniques d'una ceràmica, així com per identificar agrupacions que permetin establir proveniències, es fa necessària la participació conjunta de diferents tècniques analítiques (Buxeda *et al.* 1995). En el marc d'aquest treball hem aplicat la Fluorescència de raigs X (FRX) per tal de caracteritzar la

composició química de tots els individus estudiats. Paral·lelament, l'estudi de la composició mineralògica de tots els individus ceràmics s'ha realitzat mitjançant Difracció de raigs X (DRX). L'estudi mineralògic per DRX s'ha complementat amb l'aplicació puntual de Microscòpia Òptica (MO) sobre làmina prima. Així mateix, alguns individus han estat seleccionats per a ésser analitzats mitjançant Microscòpia Electrònica de Rastreig (MER) amb la finalitat de caracteritzar la microestructura i l'estadi de sinterització de la matriu ceràmica. Igualment, s'ha seleccionat una mostra de ceràmiques per a l'estudi de les seves propietats mecàniques, concretament la resistència mecànica a la fractura. Finalment, les característiques composicionals i estructurals dels individus analitzats també han estat avaluades en funció dels diferents dissenys formals que representen els diferents tipus d'àmfora, centrant-nos en els tipus Dressel 1, Laietana 1/Tarraconense 1 i Pascual 1. Aquest estudi s'ha realitzat fent servir el Mètode d'Elements Finites (MEF). Així, s'ha pogut estimar el comportament físic i mecànic dels diferents dissenys amforals a partir de la simulació de diverses condicions d'ús.

Els fonaments de les tècniques emprades, a excepció de la MER i del MEF, ja han estat descrits en el treball presentat per a obtenir el Diploma d'Estudis Avançats (Vila 2005). Per aquesta raó, a excepció feta d'aquestes dues darreres tècniques d'anàlisi, en els apartats següents ens limitarem a exposar les condicions i la rutina analítica seguida en aquest treball. Finalment, introduïrem en el discurs la problemàtica lligada al tractament estadístic de les dades composicionals i la metodologia que serà emprada en aquest treball.

## ***6.2 Anàlisi química per Fluorescència de raigs X (FRX)***

### **6.2.1 Rutina analítica**

En qualsevol anàlisi quantitativa cal tenir present que, en la pràctica, totes les mesures —tant de patrons com de mostres— estan subjectes a diferents tipus d'error, el control dels quals és fonamental per a poder establir el grau de confiança sobre els resultats obtinguts (Miller i Miller 2002). Certament, podem afirmar que no hi ha resultats quantitatius d'interès a no ser que s'acompanyin d'una estimació dels seus errors inherents. En aquest sentit, les condicions d'exactitud i de precisió són fonamentals a

l'hora de tractar amb dades quantitatives.

L'Organització Internacional d'Estàndards (ISO) defineix l'exactitud com *el grau de concordança entre el resultat d'un assaig i el valor de referència acceptat*. Expressat amb altres paraules, l'exactitud d'una tècnica analítica vindria donada per la proximitat entre el valor estimat en la mesura i el valor real de la variable mesurada. L'exactitud d'una tècnica és important perquè incorpora tant els errors aleatoris del procés d'anàlisi, que provoquen que els resultats individuals difereixin uns dels altres de manera que caiguin a ambdós costats del valor mitjà, com els possibles errors sistemàtics, aquells que fan que els resultats siguin erronis en un mateix sentit. A més, conèixer l'exactitud és imprescindible per poder comparar els resultats obtinguts amb tècniques diferents sobre un mateix material (Hein *et al.* 2002).

D'altra banda, la precisió es pot definir com la proximitat entre els diferents valors obtinguts mesurant repetidament una quantitat. De fet, pel que fa a la precisió d'una tècnica, el conveni modern estableix una diferenciació entre reproductibilitat i repetibilitat (Miller i Miller 2002: 2-7). En cas de realitzar, per exemple, diferents mesures analítiques en una mateix dia, en què les condicions generals del laboratori (temperatura, humitat, instrumental) romanen pràcticament constants, la precisió mesurada seria una precisió dins d'una mateixa seqüència. D'això se'n diu repetibilitat. Per contra, si les mesures fossin realitzades en dies o mesos diferents, o fins i tot per investigadors diferents, no seria estrany trobar una precisió amb més variabilitat. En aquest cas, la precisió mesurada seria una precisió entre seqüències, això és, la reproductibilitat.

En qualsevol tècnica d'anàlisi quantitativa, junt a les condicions d'exactitud i de precisió, també cal tenir present el fet que per a poder determinar la concentració d'un determinat element en una mostra és necessari que superi un determinat nivell mínim, conegut com a límit de detecció. A més, en funció dels patrons emprats en les rectes de calibratge, cada laboratori pot oferir uns límits de regressió diferents. Quan un element es troba en la mostra en una concentració inferior o superior a aquest límit de regressió, les concentracions no poden ésser degudament quantificades.

Les anàlisis químiques per FRX realitzades en el marc d'aquest treball han estat realitzades en els Serveis Científicotècnics de la Universitat de Barcelona. En aquest



cas, la intensitat de la FRX ha estat mesurada amb un espectrofotòmetre *Philips* PW 2400, fent servir com a font d'excitació un tub de raigs X amb ànode de Rh. La quantificació dels elements s'ha realitzat en funció de la seva concordança a la recta de calibratge traçada amb els patrons geològics de referència internacional que apareixen en la Taula 1 (Annex 1), seguint les condicions analítiques que es mostren en la Taula 2 (Annex 1). Amb aquestes condicions, s'han determinat per a tots els individus ceràmics del nostre estudi els components  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (com a Fe total),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , MnO,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$ , MgO, CaO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Mo, Th, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Sn, Ce, Co, Ga, V, Zn, W, Cu, Ni i Cr.

La precisió i l'exactitud de la FRX en els Seveis Científicotècnics de la Universitat de Barcelona s'ha obtingut a partir de la comparació dels resultats de les mostres i els d'una composició preparada amb l'estàndard Montana Soil (SRM 2711) del National Institute of Standards and Technology dels Estats Units (NIST), amb els valors recomanats i certificats per aquest estàndard (Hein *et al.* 2002). Així, s'han efectuat 10 lectures sobre la mateixa mostra sense treure-la de l'espectròmetre per estimar la precisió i l'exactitud de la tècnica sense que es pugui introduir variabilitat per un canvi en les condicions analítiques. Igualment, en aquest treball s'avaluen les condicions d'exactitud i de precisió —en el seu vessant de reproductibilitat— en la seva aplicació rutinària. Els resultats mostren un coeficient de variació inferior al 10% en la majoria d'elements determinats, indicant unes condicions òptimes de precisió. Els únics elements que superen aquest coeficient de variació són l'Sn i el Mo, probablement degut a que les concentracions mesurades per a ambdós elements se situen per sota del límit inferior de detecció d'aquesta tècnica. Pel que fa l'exactitud, els resultats mostren uns valors de la mitjana aritmètica molt propers als de la mediana, amb variacions inferiors al 5%. Igualment s'observa com, en la majoria de casos, els valors dels materials de referència certificats i recomanats se situen en un rang molt pròxim als de la mitjana i la mediana de les mesures efectuades en l'estudi, indicant, també, unes condicions òptimes d'exactitud.

Les condicions de reproductibilitat i repetibilitat que afecten específicament al protocol seguit en les anàlisis efectuades en el marc d'aquesta tesi es presenten en les Taules 3, 5, 7 i 9 (Annex 1). Pel que fa a la precisió, en el seu vessant de repetibilitat,

les composicions preparades amb l'estàndard han estat analitzades sota diferents condicions que afecten la seqüència de lectura. En primer lloc, s'han realitzat 10 lectures diferents realitzades sobre una mateixa perla i pastilla sense treure-les de l'aparell de FRX, amb la intenció d'introduir el mínim de variabilitat que pugui ésser deguda a canvis en les condicions analítiques (Taula 3, Annex 1). A més a més, s'han realitzat lectures de 5 perles i pastilles passades pel lector de FRX en una mateixa sèrie (Taula 5, Annex 1), així com de 10 perles i pastilles passades pel lector de FRX en dues sèries diferents (5+5) (Taula 7, Annex 1).

La reproductibilitat ha estat considerada a partir de 64 lectures —de perles i pastilles— realitzades entre juliol de 1999 i gener de 2008 sobre diferents composicions preparades amb l'estàndard Montana Soil (SRM 2711) (Taula 9, Annex 1). Tenint en compte que aquestes perles i pastilles han estat preparades al llarg de nou anys per diferents investigadors, fent servir diferents perladores i amb diferents condicions ambientals de laboratori i d'instrumental, és d'esperar que aquestes condicions introdueixin la variabilitat més elevada de totes les variants considerades.

El càlcul de la variabilitat existent en la composició química de les àmfores és especialment rellevant en el nostre treball. D'una banda, és emprada per a realitzar inferències sobre l'homogeneïtat de les produccions i, d'altra, representa el punt de partida en l'estudi de provenença, assumint l'anomenat postulat de provenença, en el qual s'estableix:

*“[...] that there exist differences in chemical composition between different natural sources that exceed in some recognizable way, the differences observed within a given source” (Weigand et al. 1977: 24).*

A partir d'aquestes consideracions, la metodologia emprada en aquest treball es recolza sobre l'assumpció que la variabilitat existent en un conjunt de les dades químiques ha d'ésser el resultat de la suma de la variabilitat introduïda pel mostreig, això és, errors deguts en l'estimació de la quantitat de mostra que és representativa de la composició global de la peça analitzada (Bromund et al. 1976), de la variabilitat introduïda per la tècnica analítica, així com per les característiques tecnològiques i/o al caràcter monogènic o poligènic de les ceràmiques en estudi (veure Bieber et al 1976).

En conseqüència, si assumim que la variabilitat introduïda en el mostreig i l'error analític es poden mantenir sota control, els canvis en la variabilitat química haurien d'ésser atribuïbles a la tecnologia de producció i/o a la provenença de les ceràmiques. Així doncs, per tal d'avaluar la variabilitat que potencialment podria ésser atribuïble al procés analític, hem calculat també la matriu de variació composicional (MVC) dels valors obtinguts en les lectures esmentades més a dalt (Talles 4, 6, 8 i 10, Annex 1). En tots els casos, la variació total ( $v_t$ ) obtinguda amb el càlcul de la MVC és el valor emprat per avaluar la variabilitat química existent en aquest conjunt de dades composicionals<sup>24</sup>.

## 6.2.2 Preparació dels espècimens

### 6.2.2.1 Elements majoritaris i minoritaris. Perles

En les mostres analitzades, els elements que presenten unes concentracions a nivell de majoritari (> 1%) i minoritari (0.05-1%) són —expressats com a òxids— el Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (com a Fe total), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O i SiO<sub>2</sub>. La quantificació d'aquests components, a excepció del Na<sub>2</sub>O, ha estat realitzada a partir d'un duplicat de perles.

Cada un dels individus ceràmics analitzats ha estat després mecànicament de la seva capa superficial fent servir un torn *Kavo EWL K9*. La mostra ha estat polvoritzada i homogeneïtzada mitjançant un molí de boles *Spex Mixer* mod. 8000 amb cel·la de carbur de tungstè. S'ha dipositat la mostra en una estufa a 105°C durant 12 h per tal d'aconseguir sequedat i, posteriorment, han estat preparades les perles per duplicat. A més d'aquestes dues perles, també ha estat preparada una tercera considerada de neteja del gresol i que, en cap cas, és analitzada. Cada una d'aquestes perles ha estat preparada amb una barreja homogeneïtzada de 0.3 g d'espècimen sec i 5.7 g de tetraborat de liti (LiBO<sub>4</sub>); aquesta dilució d'1:20 permet minimitzar l'efecte matriu (Anderson 1987; Meier i Zund 1993; Whiston 1987). Posteriorment, s'han afegit entre 5-10 mg de iodur de liti (LiI) per tal de controlar la tensió superficial de la perla. Aquesta barreja homogeneïtzada s'ha dipositat dins d'un gresol de Pt-Au (95:5) i ha estat fosa en un

---

<sup>24</sup> Veure apartat 5.8.

for de inducció d'alta freqüència *Phillips Perl'X-3* a una temperatura màxima de 1125°C. Finalment, la fosa és abocada dins d'un plat calent de 30 mm de diàmetre i del mateix material que el gresol.

#### 6.2.2.2 *Elements traça. Pastilla*

En les mostres analitzades, els elements que presenten unes concentracions a nivell de traça (< 0.05%) són el Ba, Rb, Mo, Th, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Sn, Ce, Co, Ga, V, Zn, W, Cu, Ni i Cr. La determinació d'aquests elements ha estat realitzada a partir d'una pastilla de pols. Així mateix, el Na<sub>2</sub>O, malgrat que en les mostres analitzades apareix com a element minoritari, també ha estat determinat mitjançant la pastilla de pols. Donat que el Na és un element lleuger de longitud d'ona molt ampla, la dilució d'1:20 emprada en la preparació de les perles no assegura una correcta lectura superficial i, per tant, no proporciona l'exactitud requerida per a la determinació de la concentració d'aquest element. Així mateix, la determinació del Na<sub>2</sub>O amb la pastilla de pols permet reduir les possibles contaminacions d'aquest element durant la manipulació manual dels espècimens.

La pastilla de pols ha estat preparada a partir d'una barreja homogeneïtzada de 5 g de mostra molturada, seca i de mida de gra <80 µm i 2 ml d'una sol·lució de reïna sintètica *n-butylmetacrilat* (Elvacite 2044, en 20% d'acetona). Aquesta barreja, homogeneïtzada manualment amb un morter d'àngata fins a sequedat i disposada sobre una base d'àcid bòric en un recipient d'alumini de 40 mm de diàmetre, ha estat sotmesa a una pressió de 400 kN durant 60 s en una premsa *Herzog*. En el cas de la pastilla de pols, l'efecte matriu ha estat minimitzat corregint la intensitat de cada element per la intensitat de la radiació Compton del tub de raigs X, a excepció dels elements Ba, Ce, V i Cr.

#### 6.2.2.3 *Pèrdua al Foc (PAF)*

Assumint que la suma total de les concentracions dels elements traça és d'aproximadament l'1% de la composició global de la ceràmica, s'entén que la major part del que falta per sumar el 100% de la composició correspon als components que es volatilitzen durant la cocció (Cogswell *et al.* 1996; Kilikoglou *et al.* 1988). Aquests responen fonamentalment a elements volàtils, a elements com l'H, O i C que no es

determinen en l'anàlisi de FRX i que acostumen a aparèixer en la pasta original en forma de matèria orgànica i, especialment, a grups hidròxils (OH)<sup>-</sup> i carbonats. Així doncs, paral·lelament a les anàlisis quantitatives dels elements majors, menors i traces, també ha estat calculada la Pèrdua al Foc (PAF) de tots els individus per tal d'obtenir una aproximació al percentatge que representen aquests elements.

La PAF ha estat calculada a partir de la calcinació de 0.3 g d'espècimen sec prèviament polvoritzat i homogeneïtzat a 950°C durant 3 h. Les calcinacions s'han efectuat en una mufla *Heraeus* M-110, fent servir una rampa d'escalfament de 2.07°C/min i refredament lliure. D'altra banda, cal afegir que el valor de la PAF permet comprovar la concordança entre la quantitat de matèria perduda en les calcinacions i la quantitat perduda en la preparació de les perles.

Així doncs, la suma de les concentracions dels elements majoritaris, minoritaris i traces i el valor de la PAF se situa, abans de normalitzar les dades, en un rang de 98-102%

### **6.3 Anàlisi mineralògica per Difracció de raigs X (DRX)**

#### **6.3.1 Rutina analítica**

La DRX és probablement una de les tècniques analítiques més emprades en la identificació i caracterització de minerals argilosos i inclusions no plàstiques (Brindley i Brown 1980; Brothwell i Pollard 2005; Pollard *et al.* 2007). L'ús d'aquesta tècnica permet identificar qualitativament —i semiquantitativament amb l'aplicació del Mètode de Chung (Chung 1974), o fins i tot quantitativament en alguns casos mitjançant el Mètode Rietveld (Young 1996)— els principals components cristal·lins presents a la mostra ceràmica i, en conseqüència, caracteritzar un dels principals factors que governen les competències tècniques d'una ceràmica.

Durant el procés de cocció es produeixen una sèrie de fenòmens que afecten tant a la fase argilosa com a les inclusions no plàstiques i que condicionen les propietats físiques de la peça manufacturada. El resultat d'aquest procés depèn fonamentalment de la composició química i mineralògica de la pasta original, de la granulometria dels components, de la temperatura màxima de cocció, de les diverses rampes —tant d'augment com de refredament de la temperatura— i dels canvis que afecten

l'atmosfera de cocció en les diferents fases del procés. En el nostre cas, la DRX ens servirà per estimar la temperatura de cocció equivalent de les ceràmiques a partir de la identificació i l'avaluació de les fases minerals presents en les mostres analitzades. Aquesta avaluació segueix la nomenclatura proposada per Maggetti (1981) en classificar els minerals presents en una ceràmica en funció del seu origen:

- 1) *Fases minerals primàries* són aquelles que formen part de la matèria primera emprada en la preparació de la pasta i que no han desaparegut ni durant el procés de cocció ni durant el procés postdeposicional.
- 2) *Fases minerals de cocció* són aquelles formades durant el procés de cocció a partir de la transformació dels components primaris.
- 3) *Fases minerals secundàries* són aquelles formades amb posterioritat al procés de cocció de la ceràmica. La cristallització d'aquestes fases es produeix en la majoria dels casos durant el període de deposició de la ceràmica.

La possible existència d'aquestes fases minerals en un ceràmica depèn, com ja ha estat apuntat, d'un gran nombre de variables, el control de les quals és, en la pràctica, difícilment assolible. Per aquesta raó, és la conjunció de les dades obtingudes amb la caracterització química per FRX, la caracterització mineralògica per DRX i, puntualment, amb MER, la que ens permetrà modelar les transformacions que tenen lloc i així estimar el que es coneix com a *temperatura de cocció equivalent* (TCE): una estimació de la temperatura a la qual va ésser cuita una ceràmica. Expressat originalment per Roberts (1963) de la següent manera:

*“[...]The temperature determined will be what may be called an “equivalent firing temperature”: it is essentially that constant temperature which, in a time similar to the time the specimen had been exposed to sintering temperatures during the original firing, would have brought the specimen to the same stage of sintering”. (Roberts 1963: 21).*

Un factor d'especial importància en les anàlisis mitjançant DRX és el tipus de radiació amb la qual es treballa. Triar la radiació més adequada requereix tenir present diversos factors relacionats amb el tipus de material a analitzar i amb l'objectiu de la

recerca. En general, la millor opció és aquella que proporcioni el millor compromís entre uns pics de màxima intensitat amb una adequada dispersió i un mínim de radiació de fons. Les radiacions més extensament utilitzades en l'anàlisi mineralògic són les del Cu i el Co. Aquest darrer element té el principal avantatge de produir una radiació característica amb una longitud d'ona més llarga que la del Cu, la qual cosa que permet identificar més fàcilment aquelles reflexions que es donen en espais interplanars més grans, característics de certs minerals argilosos (Wilson 1987; Wilson i Nadeau 1985). Així mateix, el Co es pot considerar especialment útil per a l'anàlisi de components molt rics en ferro, donat que la radiació del Cu queda més absorbida per aquestes substàncies i genera radiació secundària fluorescent, creant patrons de difracció amb una gran quantitat de radiació de fons. Tanmateix, de manera generalitzada es considera la radiació  $K\alpha$  del Cu com la més addient en les anàlisis mineralògiques de composts multifàsics com és el cas de les ceràmiques ja que l'ús del Co produeix una menor dispersió dels pics i, per tant, es produeixen solapaments que, especialment en compostos multifàsics, dificulten la identificació de les fases presents (Brindley i Brown 1980; Wilson 1987).

Les anàlisis mineralògiques per DRX realitzades en el marc d'aquest treball han estat realitzades en els Serveis Científicotècnics de la Universitat de Barcelona, fent servir dos difractòmetres diferents.

Les mesures dels individus MUJ006-MUJ060 i FEN001-FEN051 s'han efectuat mitjançant el mètode de pols, emprant un difractòmetre de geometria *Bragg-Brentano PANalytical X'Pert PRO MPD alpha1* (radi=240 mm), treballant amb la radiació  $K\alpha$  de Cu ( $\lambda=1.5406 \text{ \AA}$ ), amb un monocromador primari focalitzant de Ge (111) i una potència de treball de 45 kV, 40 mA. El difractòmetre compta amb finestra de divergència variable per tal d'aconseguir una longitud irradiada en la direcció paral·lela al feix de raig-X de 10 mm, amb màscara en el feix incident que regula la longitud irradiada sobre la mostra en la direcció axial a 12 mm, així com amb un detector *X'Celerator* amb longitud activa de  $2.122^\circ$ . Les mesures han estat realitzades entre  $4$  i  $80^\circ 2\theta$  amb una mida de pas de  $0.017^\circ 2\theta$  i un temps de comptatge de 50 s per pas.

Les mesures de la resta dels individus analitzats s'han efectuat mitjançant el mètode de la pols, emprant un difractòmetre de geometria *Bragg-Brentano Siemens D-*

500, treballant amb la radiació  $K\alpha$  de Cu ( $\lambda=1.5406 \text{ \AA}$ ), amb un monocromador de grafit en el feix difractat i una potència de treball d'1.2 kW (40kV, 30 mA). Les mesures han estat realitzades entre  $4$  i  $70^\circ 2\theta$  amb una mida de pas de  $0.05^\circ 2\theta$  i un temps de comptatge de 3 s per pas.

Les fases cristal·lines presents en cada mostra analitzada han estat identificades i avaluades amb el paquet de programes DIFFRAC/AT de *Siemens* que inclou el banc de dades del *International Centre for Diffraction Data-Joint Committee of Powder Diffraction Standards*, 2006 (ICDD-JCPDS).

### 6.3.2 Preparació dels espècimens

#### 6.3.2.1 El mètode de pols

El mètode de la pols requereix d'aproximadament 1 g de mostra seca, prèviament molturada i homogeneïtzada. La mostra en pols és dipositada en un portamostres estàndard cilíndric de 16 mm de diàmetre i 2.5 mm d'alçada (PW1811/16), en què es procedeix a una compactació manual de la mostra mitjançant una placa de vidre fins a obtenir una superfície plana. La mostra en pols suposa una orientació a l'atzar de la multitud de cristalls que componen la mostra i, per tant, augmenta la probabilitat que algunes de les partícules estiguin orientades respecte del feix de raigs X de tal manera que es satisfacin les condicions de difracció de la llei de Bragg (Whiston 1987: 29-32). El mètode fotogràfic i el mètode de difractòmetre són els més comuns en la detecció i anàlisi de DRX mitjançant el mètode de la pols. Aquests es diferencien en l'instrumental necessari, així com en la manera en què la mostra ha de ser preparada per a la seva anàlisi (Moore i Reynolds 1997; Rice 1987; Whiston 1987). Si bé hi ha certs avantatges en l'ús del mètode de càmera o fotogràfic, la relativa facilitat i rapidesa amb què es poden aconseguir patrons de difracció de bona qualitat amb un difractòmetre han fet que aquest mètode sigui adoptat gairebé universalment com a estàndard en els laboratoris de DRX.

Per tal de poder detectar totes les fases cristal·lines presents a la mostra és necessari reconèixer totes les famílies de plans cristal·lins. En cas de realitzar l'anàlisi sobre una mostra immòbil només seria possible identificar aquelles fases situades en posicions angulars que casualment complissin amb la llei de Bragg. Per aquesta raó, tant



la mostra com el detector es sotmeten a una velocitat de gir uniforme mitjançant el goniòmetre. La geometria de parafocalització imposa una relació constant de 1:2 entre la velocitat de gir de la mostra i la del detector (Klug i Alexander 1974). D'aquesta manera, un gir d'angle  $\theta$  de la mostra suposa un gir d'angle  $2\theta$  per al detector, cosa que permet detectar els feixos difractats.

## **6.4 Microscòpia òptica sobre làmina prima (MO)**

### **6.4.1 Rutina analítica**

L'aplicació de la Microscòpia Òptica (MO) sobre làmina prima és una de les tècniques d'anàlisi més emprades en les caracteritzacions arqueomètriques de ceràmiques arqueològiques (Riederer 2004). Els estudis de làmina prima estan orientats fonamentalment a la identificació mineralògica, petrològica i petrogràfica, sovint com una tècnica complementària d'altres anàlisis, i a la caracterització de la fàbrica, entesa com la distribució, freqüència, mida, forma i composició dels components d'una ceràmica, especialment per a l'establiment de proveniències.

En aquest treball, la MO sobre làmina prima ha estat aplicada puntualment sobre una mostra seleccionada d'individus, per tal d'obtenir una estimació de la mida de les partícules no plàstiques presents en la ceràmica, així com per tal d'estimar-ne el percentatge d'àrea (Schmitt 1998; Whitbread 1995). Com ja hem esmentat en el Capítol 1, la freqüència i la mida de les partícules no plàstiques són algunes de les variables que condicionen altament el comportament mecànic d'una ceràmica. En el cas de les àmfores es pot assumir que aquest comportament mecànic deuria de representar una de les principals competències a ésser controlades durant el procés de disseny, donades les condicions d'ús d'aquestes envasos; haurien de resistir sense trencar-se les forces provocades pel seu propi contingut contra les parets de l'envàs, així com les forces resultants del seu alçament per les nanses o de l'estiba a dins d'un vaixell en trànsit i, per tant, sotmès a les forces provocades pel moviment de la mar. Per aquesta raó, de manera complementària a l'estudi de les propietats mecàniques del material ceràmic, i com a procediment necessari per al desenvolupament de les solucions numèriques mitjançant el Mètode dels Elements Finitos (MEF), s'han efectuat diversos mesuraments sobre les imatges obtingudes per MO. D'una banda, s'ha estimat la fracció per volum

aparent ( $V_f$ ) de les inclusions no plàstiques presents a la ceràmica, a partir del càlcul de la raó de la superfície ocupada per les inclusions no plàstiques i el total de la superfície observada per MO. D'altra banda, també s'han efectuat mesures granulomètriques. Les inclusions s'han agrupat en classes en funció del diàmetre màxim observable per MO i, posteriorment, s'ha efectuat la suma de la superfície de totes les inclusions pertanyent a cada una de les classes definides.

Les observacions per MO s'han realitzat en el *Fitch Laboratory* de la *British School at Athens* (Grècia), fent servir un aparell *Leica* mod. MZ9.5, equipat per a magnificacions des de 6.3X a 60X, amb objectius 1X i 10X, permetent una magnificació total des de 2X a 600X. Els objectius Planapocromàtics proporcionen una resolució de 375 Lp/mm amb Planapo 1X o 750 Lp/mm amb Planapo 2X. Els objectius ergonòmics 0.4X-0.63X permeten focalitzar un camp de 90 mm (distància de treball de 63.5-153.5 mm). El microscopi està preparat per a l'adquisició digital d'imatges amb una càmera *Leica* mod. DC300.

#### **6.4.2 Condicions del comptatge**

La quantificació de les partícules no plàstiques s'ha realitzat a partir del tractament digital de les imatges obtingudes per MO. El tractament digital ha estat realitzat amb el processador d'imatges de domini públic *Image J* 1.38x. Aquest programa informàtic permet, entre d'altres aplicacions, calcular àrees, distàncies, realitzar transformacions geomètriques i calcular diverses estadístiques dels píxels seleccionats prèviament sobre una imatge.

Un dels principals problemes existents en el comptatge de les inclusions no plàstiques presents en una ceràmica, i per extensió de qualsevol altre tipus de partícula existent en una matriu, és el que es coneix com a segmentació, a saber, la dificultat de distingir de manera acurada l'element que es pretén mesurar de la matriu en què es troba. Aquest és un requisit fonamental donat que només quan els elements han estat correctament segmentats poden ésser degudament analitzats. Existeixen diferents operacions per tal d'aconseguir una correcta segmentació de la imatge mitjançant *Image J*. En tots els casos es fa necessària la transformació de la imatge a partir de la definició d'un rang d'intensitat lumínica que servirà de límit en la identificació de les partícules a

analitzar —en el nostre cas, les inclusions no plàstiques. Així, totes les zones amb uns valors d'intensitat lumínica que se situïn dins del rang establert es converteixen en un color diferent al de la matriu. En el nostre cas, la quantificació de les inclusions no plàstiques s'ha realitzat després de transformar la imatge original en una imatge binària on les inclusions apareixen en color negre i la matriu en color blanc. Posteriorment, aquesta segmentació ha estat millorada fent servir els processos *Threshold* i *Watershed*. D'aquesta manera, els píxels de color negre (les inclusions) són transformats en píxels de color gris d'una intensitat proporcional a la distància que els separa d'un píxel de color blanc (la matriu). Així, els píxels negres més propers a la interfície formada amb la matriu es transformen en una coloració grisa clara, mentre que els més allunyats, és a dir, els situats més a l'interior de la inclusió, es mantenen amb una coloració més propera al color negre. A partir d'aquí, es poden identificar els punts equidistant respecta de la matriu. Així és possible traçar línies de divisió entre partícules que hagin pogut quedar solapades en els processos previs de segmentació. En les anàlisis granulomètriques efectuades s'ha tingut especial cura en discriminar el conjunt d'inclusions dels possibles vacúols presents a la làmina prima.

Les mesures granulomètriques i el càlcul de la fracció per volum de les partícules no plàstiques presents a la ceràmica a partir de l'observació d'una làmina prima estan inherentment lligades a un cert biaix. Això és així ja que, en termes de probabilitat, el diàmetre màxim que s'observa sobre la làmina prima només en un sol cas coincideix amb el que seria el diàmetre real de la partícula observada, mentre que en la resta de casos el diàmetre observat és menor al diàmetre real. Existeixen diversos mètodes matemàtics que corregeixen parcialment aquest biaix, a partir de models que estimen la funció de densitat de probabilitat del radi de les esferes presents en un medi, donat el radi dels seus perfils en una secció aleatòria (Van Es i Hoogendorm 1990; Wicksell 1925). Donats els problemes inherents a la quantificació de partícules sobre làmina prima, hem de precisar que, en el nostre cas, el càlcul del diàmetre màxim de les partícules *i*, per tant, el càlcul de la seva superfície s'ha d'entendre com el càlcul del diàmetre màxim *aparent* i de la superfície *aparent*. En conseqüència la fracció per volum ( $V_f$ ) s'ha d'entendre també com a  $V_f$  *aparent*. En tots els casos han estat mesurades les inclusions amb una diàmetre màxim aparent superior a 30  $\mu\text{m}$ , per bé que

les inclusions entre 5-30  $\mu\text{m}$  si s'han considerat en el càlcul total de la  $V_f$ .

Finalment, cal afegir que la freqüència de la mida de les partícules de sediments naturals tendeix a seguir una distribució normal quan aquestes dades són transformades a escala logarítmica (Whitbread 1995: 388-390). Això comporta que els càlculs estadístics i les representacions gràfiques més freqüents resulten més comprensibles si les mides de les partícules són transformades a valors logarítmics: a escala phi ( $\phi$ ). En el nostre cas, les dades quantitatives obtingudes en l'anàlisi de les partícules ha estat transformades a escala phi, a partir de la transformació logarítmica de les dades, segons l'equació:

$$X\phi = -\log_2 x$$

A on  $x$  és la mida de la inclusió expressada en mm i  $X$  és la mida logarítmica de base 2 expressada en unitats phi ( $\phi$ ). Així, per exemple, una mida de 4 mm és equivalent a -2 unitats en escala  $\phi$ , i una mida de 3  $\phi$  és equivalent a 125  $\mu\text{m}$ , és a dir, a 0.0125 mm.

### 6.4.3 Preparació dels espècimens

Per a la preparació de les làmines primes, les mostres ceràmiques han estat tallades en sec amb una serra *Struers Discoplan TS* seguint un tall longitudinal respecte l'eix central de la peça. El fragment obtingut ha estat inclòs posteriorment en reïna transparent de polièster. La superfície ha estat polida amb carborúndum en pols de 400, 600, 800, 1000 i 1200 *mesh*, en suspensió en oli i acabat amb un plat de drap i solució aquosa d'alúmina de 0.3  $\mu\text{m}$ . Les mostres han estat adherides a un portamostres de vidre mitjançant adhesiu *Loctite 358* sotmès, posteriorment, a radiació ultraviolada entre 2-3 min per tal d'accelerar el procés de fixació i minimitzar l'aparició de bombolles d'aire. Les mostres fixades al portamostres han estat novament tallades amb una serra de baixa velocitat *Buehler Isomet* amb la finalitat d'aconseguir tacs d'alguns mil·límetres de gruix i poder conservar, així, la mostra restant.

Les làmines montades han estat rebaixades fins a assolir un gruix aproximat de 30  $\mu\text{m}$  amb un disc de diamant *Struers Discoplan TS*. Finalment, el rebaix i acabat definitiu de les làmines s'ha aconseguit manualment mitjançant abrasiu de carborúndum

1200 *mesh*.

## 6.5 Microscòpia electrònica de rastreig (MER)

### 6.5.1 Rutina analítica

L'estudi per MER permet obtenir imatges de gran resolució de la superfície microestructural d'una ceràmica amb un ampli rang de magnificació (3-150000X). Talment, mitjançant MER es poden realitzar microanàlisis químiques qualitatives i quantitatives sobre un diàmetre mínim d'1µm.

La utilització de la MER en la recerca arqueomètrica ha estat emprada molt freqüentment en la caracterització de microestructures per tal d'obtenir una aproximació a la temperatura de cocció equivalent de les ceràmiques (Faber *et al.* 2002; Kilikoglou 1994; Maniatis i Tite 1975; Maniatis i Tite 1981; Maniatis *et al.* 1982; Shaw *et al.* 2001), així com per complementar les observacions mineralògiques mitjançant DRX o MO (Buxeda 1995; Cau 2003). D'altra banda, aquesta tècnica és emprada habitualment en la caracterització tecnològica dels tractaments de superfícies que presenten, per exemple, les ceràmiques *terra sigillata* (Madrid i Buxeda en premsa) o les majòliques (Garcia 2007).

Els fonaments d'aquesta tècnica són molt similars als de la FRX. La principal diferència rau en el fet que, mentre que en FRX s'utilitzen raigs X per a provocar el desplaçament dels electrons situats en les capes més internes dels àtoms de la mostra, en MER aquest desplaçament es provoca amb un bombardeig d'electrons (Goldstein *et al.* 1984). La resolució i el rang de magnificació que es pot aconseguir amb un microscopi òptic està limitat pel rang de la longitud d'ona de la llum (5000-7000 Å). Així, per tal d'obtenir imatges amb major magnificació és necessari emprar altres radiacions amb longituds d'ona més curtes, per exemple mitjançant un feix d'electrons —en aquest cas, es produeixen radiacions amb longitud d'ona de l'ordre de pocs Å.

Generalment, en un aparell de microscòpia electrònica el feix d'electrons es genera amb un canó d'electrons, a partir d'un filament incandescent de tungstè que actua com a càtode. Les altes temperatures del filament causen en els electrons del tungstè un grau d'excitació suficient com per a que abandonin les seves òrbites. Així, l'aplicació d'un voltatge negatiu (20-30 kV) entre el filament i un disc que actua com a

ànode permet generar un feix accelerat d'electrons. Donat que els electrons són partícules carregades elèctricament, el feix generat pot ésser conduït a qualsevol part de la mostra analitzada mitjançant un conjunt de lents electromagnètiques. Així mateix, els aparells de MER permeten caracteritzar químicament àrees de la mostra a partir d'una gran magnificació i distingir les fases presents en funció de les diferències en el pes atòmic (i per tant, número atòmic). En aquest sentit, en l'anomenada *imatge d'electrons retrodispersada*, quant major sigui el número atòmic de l'element, més blanca i brillant serà la imatge generada, mentre que els elements més lleugers apareixeran en tonalitats més fosques.

Quan el feix d'electrons interacciona amb la mostra analitzada es produeixen diversos fenòmens. Els electrons del feix primari col·lisionen amb els àtoms de la mostra, provocant el desplaçament dels electrons situats en els orbitals exteriors d'aquests àtoms. Aquests electrons reben el nom d'*electrons secundaris* i es caracteritzen per la seva baixa energia cinètica (inferior a 50 eV). Aquesta baixa energia comporta que quant més a l'interior de la mostra se situï un àtom, més difícil serà que els electrons de les òrbites siguin desplaçats, abandonin la mostra i puguin ésser detectats. És per això que els electrons secundaris són especialment sensibles en la descripció de la superfície topogràfica de la mostra.

D'altra banda, quan el feix d'electrons primari interacciona amb la mostra analitzada, es produeixen els anomenats *electrons retrodispersats*. Aquests electrons resulten de la interacció del feix primari amb el nucli dels àtoms de la mostra i es caracteritzen per una alta energia cinètica. Així doncs, aquests electrons, a diferència del que ocorre amb els secundaris, disposen de la suficient energia per abandonar els àtoms situats a l'interior de la mostra i que, per tant, no reflecteixen la seva superfície topogràfica. Ara bé, la intensitat d'aquests electrons és proporcional al número atòmic del nucli amb el que ha interaccionat. Això significa que la variació de la intensitat en una superfície ha d'ésser proporcional al número atòmic mitjà que la representa i que, per tant, proporciona informació sobre la composició química de la superfície o del punt focalitzat.

Les observacions realitzades per MER en aquest treball s'han efectuat mitjançant dos microscopis diferents. D'una banda s'ha emprat un aparell *Jeol JSM-840*

acoblat a un analitzador de raigs X per dispersió d'energies (EDX) i preparat per a l'adquisició digital d'imatges, treballant típicament a 2000X i amb un voltatge d'acceleració de 20 kV. En aquest cas, les observacions han estat realitzades en els Serveis Científicotècnics de la Universitat de Barcelona. D'altra banda, s'ha emprat també un aparell *FEI Quanta Inspect D8334*, acoblat a un analitzador de raigs X per dispersió d'energies (EDX) i preparat per a l'adquisició digital d'imatges, treballant típicament a 2000X i amb un voltatge d'acceleració de 25 kV. En aquest cas, les observacions han estat realitzades en l'*Institute of Materials Science* del *National Center for Scientific Research "Δημοκριτος"* d'Atenes (Grècia).

### **6.5.2 Preparació dels espècimens**

L'estudi per MER s'ha realitzat en tots els casos sobre fractures fresques que han estat adherides un portamostres amb silicona. Les parets de la mostra i les restes observables de silicona han estat recobertes amb plata col·loïdal fins a la zona de contacte amb el portamostres.

A continuació, tota la mostra s'ha recobert per una capa de carboni en una atmosfera d'alt buit. La finalitat d'aquest procediment és la d'aconseguir una bona conductivitat en les mostres i, d'aquesta manera, evitar les possibles acumulacions de càrrega elèctrica durant la irradiació, cosa que provocaria la desviació del feix electrònic i, com a conseqüència, una distorsió en la imatge generada.

## **6.6 Propietats mecàniques**

Les àmfores són ceràmiques utilitàries dissenyades tant per al transport com per a l'emmagatzematge de productes líquids (vi, oli, *garum*) i sòlids (cereals, salaons, olives) (Twede 2002). Pel que respecta concretament a les àmfores que formen el nostre cas d'estudi, l'avaluació de les seves competències tècniques es fonamenta en dues consideracions principals.

- 1) Són ceràmiques dissenyades específicament per a servir d'envàs de transport d'un producte líquid: el vi.
- 2) Són ceràmiques dissenyades específicament per a ésser transportades

fonamentalment per via marítima i fluvial i, en conseqüència, per a ésser estibades a l'interior d'una nau.

Un corol·lari d'aquestes consideracions és que les propietats físiques i formals d'aquests contenidors haurien d'haver jugat un paper rellevant en el procés del seu disseny. Les propietats físiques més rellevants per a descriure el comportament dels envasos en el context de les activitats esmentades són les seves propietats mecàniques, molt concretament la resistència mecànica a la fractura (Kilikoglou *et al.* 1995; Kilikoglou *et al.* 1998; Tite *et al.* 2001). Per aquesta raó, hem decidit iniciar l'estudi de les propietats mecàniques sobre una mostra seleccionada d'individus ceràmics recuperats en centres productors i centres receptors. L'estudi d'aquestes propietats mecàniques ens interessa en tant que ens permetrà conèixer el comportament dels diferents materials ceràmics en ésser sotmesos a unes determinades forces i, igualment, ens permetrà una aproximació a les condicions sota les quals s'hi haurien produït fractures crítiques. A partir d'aquestes dades, s'avaluaran les diferències entre les produccions amforals analitzades en aquest treball.

### **6.6.1 Resistència mecànica a la fractura**

La ceràmica és un material fràgil. Això comporta que no disposa de mecanismes eficients per a dissipar l'energia d'una fractura quan aquesta ja s'ha iniciat, a diferència del que ocorre, per exemple, amb els metalls gràcies a la seva capacitat de deformació plàstica. Aquest comportament és òbviament inacceptable en moltes aplicacions tecnològiques contemporànies que fan ús de la ceràmica com a material constructiu, molt especialment aquelles relacionades amb l'enginyeria (mecànica, espacial, bioenginyeria, etc.). Per aquesta raó, la recerca portada a terme des de la ciència dels materials en els darrers anys ha centrat bona part dels seus esforços en millorar-ne aquestes competències (Green 1998). Una estratègia per a millorar la capacitat per a dissipar l'energia d'una fractura en una ceràmica és mitjançant l'afegit de partícules no plàstiques a la matriu argilosa. Aquesta estratègia sembla no haver passat desapercebuda entre alguns ceramistes de l'Antiguitat, molt especialment en la producció de ceràmiques de cuina, una de les principals competències tècniques de les



quals havia d'èsser una relativa resistència als ràpids canvis de temperatura en ésser dipositades a sobre del foc (Tite *et al.* 2001). Precisament aquesta competència està condicionada per la tenacitat a la fractura de la ceràmica, o el que és el mateix, la seva capacitat per a dissipar l'energia d'una fractura. No obstant, en general, l'aparició d'una fractura en una ceràmica provoca el seu trencament complet de manera gairabé immediata. Una de les principals causes d'aquest comportament és l'existència de microfractures en la matriu, les quals actuen com a concentradores de l'estrès generat en l'aplicació d'una força. Paradoxalment, els mecanismes que permeten incrementar la tenacitat a la fractura d'una ceràmica, com per exemple l'afegit de desgredadors minerals o la cocció a baixa temperatura, provoquen, alhora, una reducció de la seva resistència mecànica a la fractura (Ashby 1992; Green 1998; Kilikoglou *et al.* 1995; Kilikoglou *et al.* 1998; Kingery 1963).

La resistència mecànica a la fractura d'un material ( $\sigma_f$ ) pot ésser definida per la màxima quantitat d'estrès que pot suportar abans de trencar-se. Així doncs, el trencament d'una ceràmica depèn, entre d'altres factors<sup>25</sup>, del tipus de força aplicada i de la resistència del material. En aquest cas, la resistència mecànica no es considera una propietat intrínscita del material ceràmic, en tant que depèn en gran mesura de la freqüència i mida de les petites esquerdes presents a la seva microestructura donat que aquestes, com ja hem esmentat, concentren l'estrès generat en l'aplicació d'una força. Per tant, la resistència d'una ceràmica serà major o menor en funció de paràmetres com ara la freqüència i mida de les partícules no plàstiques presents en la matriu, la macro i micro-porositat, o la seva temperatura de cocció. Pel que fa a aquest darrer paràmetre, per exemple, a mesura que augmenta la temperatura de cocció, major és el grau de fusió entre les partícules en contacte, augmentant la viscositat i reduint-se la porositat de la matriu; d'aquesta manera, a major augment de temperatura de cocció, major és

---

<sup>25</sup> La resistència mecànica d'una ceràmica està condicionada per les propietats físiques del material amb el qual es va fabricar. Així, els canvis en la resistència mecànica poden respondre a la modificació tant dels components de la pasta argilosa com de la tecnologia de cocció. Tanmateix, el comportament d'una ceràmica en el context d'una determinada activitat no pot ésser degudament determinat amb l'estudi d'aquests dos paràmetres. La mida, el gruix de les parets i la forma de la peça ceràmica, especialment els seus angles i curvatures, són variables que condicionen altament el seu rendiment. En conseqüència, àmfores produïdes amb les mateixes pastes però amb diferent tipologies, és a dir, diferents dissenys, es comportaran de manera diferent sota unes mateixes condicions. Per aquesta raó, l'estudi de les propietats mecàniques es veurà completat amb l'Anàlisi d'Elements Finitis, el fonament de la qual s'explica a l'apartat següent.

l'extensió de la fase vítria de la matriu, i major la seva resistència a la fractura.

Donat que el que ens interessa és conèixer el comportament d'una ceràmica en el context d'una activitat concreta, els tipus de força aplicada en els tests que determinen la resistència mecànica de la ceràmica han de representar, de la manera més acurada possible, les que realment haurien participat d'aquestes activitats. En el cas concret de les àmfores, per exemple, la força que representa el pes del propi envàs —i del seu contingut—, o la força que resulta d'un contacte de les parets exteriors amb un altre envàs, es pot considerar una força de tensió en flexió estàtica (Green 1998: 285-291, i referències en el seu interior). Així doncs, el més adient és realitzar un test de flexió per a determinar la resistència a la flexió o el mòdul de ruptura de la ceràmica (MOR); més concretament la seva resistència a la ruptura transversal (TRS). La configuració de la càrrega en aquests tests generalment és en funció de tres o quatre punts (three- o four-point-bending). Per a ambdós casos existeixen procediments estàndards de l'American Society for Testing and Materials (ASTM 1990).

Per a la realització d'aquests tests es requereixen d'uns espècimens en forma de maons paral·lelepípedes d'unes mides específiques (aproximadament, 60 x 10 x 10 mm). Així mateix, donat que la resistència mecànica d'una ceràmica depèn de la presència de microfractures en la matriu, és recomanable realitzar el test en varis espècimens i obtenir un estadístic que representi la tendència central dels valors obtinguts. Aquests condicionants fan que, en molts de casos, sigui difícil l'aplicació d'aquests tests en ceràmiques arqueològiques, bé a causa de la manca de mostra disponible, bé per la geometria específica de la mostra que no permet l'extracció d'un maó paral·lelepípede. En el nostre cas concret, la preparació d'aquests espècimens ha estat possible només en un nombre limitat de mostres. Per aquesta raó, hem estimat la resistència a la fractura de les àmfores a partir del càlcul de la resistència a la fractura Hertziana ( $\sigma_H$ ). Hem optat per aquest mètode fonamentalment per tres raons:

- 1) Ha demostrat ser un bon indicador per al càlcul de la resistència mecànica en ceràmiques arqueològiques, concretament en el cas de les àmfores (Vekinis i Kilikoglou 1998; veure també Kilikoglou *et al.* 1998).
- 2) El càlcul es realitza amb un test que calcula la fractura del material sota un punt

de càrrega, el que representa un dels principals modes de fractura d'envasos de transport o emmagatzematge.

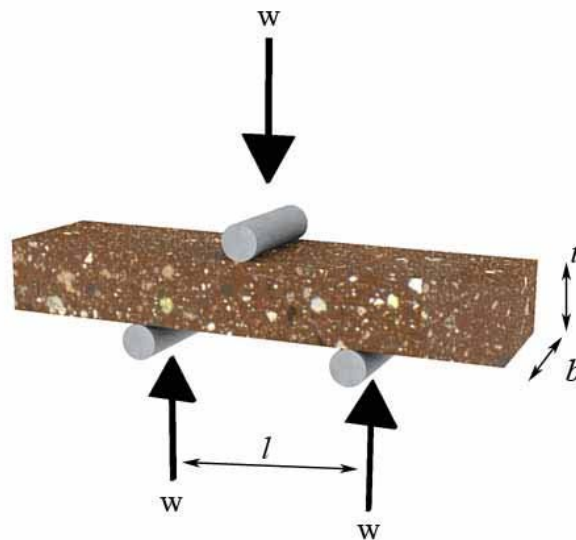
- 3) Els espècimens que són testats es poden fer a partir d'una quantitat menor de mostra ceràmica. En aquest cas es requereix d'un sol espècimen en forma de disc circular, d'aproximadament 25-30 mm de diàmetre i 3 mm de gruix.

Així mateix, en un total de 13 individus ceràmics, el càlcul de  $\sigma_H$  s'ha realitzat en paral·lel al càlcul de TRS, per tal de poder establir el grau de correlació entre els resultats obtinguts mitjançant els dos mètodes.

En el nostre cas, la resistència mecànica a la fractura s'ha obtingut a partir del test three-point-bending sobre tres espècimens idèntics per individu ceràmic. El càlcul de la TRS s'ha realitzat a partir de l'equació:

$$TRS = \frac{3Wl}{2bt^2}$$

On els diferents paràmetres apareixen il·lustrats en la Figura 29



**Figura 29.** Model d'un espècimen en el test three-point-bending de resistència mecànica a la fractura. **W**: força aplicada (N); **b**: amplada espècimen (mm); **l**: longitud (mm); **t**: alçada (mm).

### 6.6.2 Resistència a la fractura Hertziana

El càlcul de la resistència a la fractura Hertziana representa un mètode alternatiu per estimar la resistència a la fractura en materials fràgils, especialment adient per a ésser aplicat en ceràmiques arqueològiques. Els fonaments teòrics d'aquest mètode estan en els treballs realitzats per Hertz a finals del segle XIX, en els quals proposava una solució al problema de l'elasticitat entre partícules esfèriques en contacte (Green 1998: 276-280).

En aquest cas, la resistència a la ruptura transversal s'estima a partir del càlcul de la la fractura del material sota un punt de càrrega. Una manera d'il·lustrar-ho és mitjançant una esfera en contacte amb una superfície plana (Figura 30).



**Figura 30.** Model d'un espècimen en el test de resistència a la fractura Hertziana. **W**: força aplicada; **r**: radi de l'esfera (mm).

L'esfera de radi  $r$  aplica una força  $W$  sobre el pla de la mostra, resultant en una àrea de contacte circular de radi  $a$ . Aquesta àrea de contacte augmenta de mida a mesura que augmenta la càrrega aplicada, de tal manera que:

$$a^3 = \frac{4kWr}{3E_s}$$

On

$$k = \frac{9[(1-\nu_s^2)E_1 + (1-\nu_I^2)E_s]}{16E_I}$$

On  $E$  és el mòdul de Young i  $\nu$  és la raó de Poisson. Per a aquests dos paràmetres s'han assumit els valors de 15 GPa i 0.27, respectivament, seguint els resultats més freqüents en aquets tipus de ceràmiques (Kilikoglou i Vekinis 2002). Els subíndex  $I$  i  $S$  representen l'esfera i la superfície (el material testat), respectivament.

A partir d'aquesta geometria de càrrega, la quantitat màxima d'estrès de tensió  $\sigma_{\max}$  es localitza en la superfície, just a sota i als voltants de l'àrea de contacte i ve donada per l'equació:

$$\sigma_{\max} = \frac{W(1-2\nu_s)}{2\pi a^2}$$

A partir d'aquesta equació hem calculat la resistència a la fractura Hertziana  $\sigma_H$  i s'ha establert el grau de correlació amb els valors TRS obtinguts amb els mètodes estàndars. En els tests realitzats sobre els espècimens ceràmics, les microfractures provocades per l'estrès generat formen conjuntament l'anomenat con de fractura hertziana (Figura 30). Aquest conjunt de fractures es propaguen ràpidament a través de la matriu de l'espècimen a mesura que augmenta la pressió de l'esfera, observant-se macroscòpicament quatre àrees de fractura principals, des del centre de l'espècimen fins a l'exterior, seguint un patró de creu.

### 6.6.3 Rutina analítica

Els tests de les propietats mecàniques han estat realitzats en el *Laboratory of Archaeometry* i a l'*Advanced Ceramics Laboratory* de l'*Institute of Materials Science, National Center for Scientific Research "Δημοκριτος"* d'Atenes (Grècia). Les mesures tant de la resistència a la fractura mecànica com de la resistència a la fractura hertziana s'han realitzat amb un aparell 5000N INSTRON universal tester mod. 1026. La càrrega aplicada ha estat fixada en tots els casos en una raó constant de 100µm/min.

En diversos tests experimentals realitzats per Vekinis i Kilikoglou (1998) sobre unes ceràmiques de característiques similars a les àmfores del nostre estudi es va constatar que, en el cas del càlcul de la resistència a la fractura hertziana, l'esfera s'inseria en l'espècimen a través de petits salts, a causa de la fricció superficial, el que causava una dispersió de les dades resultants que no es corresponia amb les propietats reals dels materials. Per tal d'evitar aquests inconvenients, i seguint les consideracions de Vekinis i Kilikoglou (1998), la càrrega ha estat programada entre 100 i 1000 N. Amb aquestes condicions, l'error total dels tests se situa per sota del 5%.

### 6.6.4 Preparació dels espècimens

Per a realitzar els tests de la resistència mecànica a la fractura (three-point-bending), els individus ceràmics han estat tallats en forma de maons paral·lelepípedes d'unes mides aproximades de 60 x 10 x 10 mm. Per a cada individu ceràmic, s'han testat tres maons de dimensions similars. Les ceràmiques han estat tallades amb una serra *Struers Discoplan TS*. Posteriorment, han estat polides amb un aparell *Struers DAP-7* amb Pedemin-2 fent servir paper SiC 1200 fins a aconseguir superfícies paral·leles. Els cantons dels maons han estat polits manualment amb paper SiC 1200 per evitar la concentració d'estrès en aquests punts. Finalment, els espècimens han estat netejats amb aigua, assecats en una estufa a 105°C durant 12 h per tal d'aconseguir sequedat, i dipositats en un dessecador abans d'ésser testats.

Per a realitzar els tests de la resistència a la fractura hertziana, els individus ceràmics han estat tallats en forma de discs circulars d'aproximadament 25 mm de diàmetre i 3 mm de gruix. Per a cada individu ceràmic s'ha testat un espècimen. Els

espècimens han estat preparats seguint el mateix procediment descrit a dalt.

## **6.7 El Mètode d'Elements Finites (MEF)**

### **6.7.1 Introducció**

El mètode dels elements finits (MEF) és una tècnica de càlcul numèrica desenvolupada per estimar el grau de deformació que pot experimentar un objecte abans de l'aparició d'una fractura i, d'aquesta manera, predir les circumstàncies sota les quals es produiria el seu trencament. A partir d'aquesta tècnica numèrica, es pot realitzar una simulació per ordinador —l'Anàlisi d'Elements Finites (AEF)— que permet recrear el comportament d'un artefacte en el context d'una determinada activitat. Els resultats d'aquesta anàlisi mostren quines són les parts més febles del disseny de l'artefacte i a on s'haurien produït les fractures en el context d'una determinada activitat.

L'avaluació d'aquestes dades per diversos tipus ceràmics pot contribuir substancialment a entendre la causa (o causes) explicatives del canvi tecnològic; aquesta metodologia hauria de permetre aprehendre si els canvis en el disseny d'un artefacte (tant en la seva forma com en els materials emprats en la seva fabricació) poden respondre a un intent premeditat per a evitar aquests punts febles.

Aquesta tècnica d'anàlisi ha estat aplicada per primera vegada als tres primers dissenys d'àmfora romana del nostre cas d'estudi: Dressel 1, Laietana 1/Tarraconense 1 i Pascual 1. Els resultats ens permetran saber si els diferents dissenys amforals s'haurien comportat d'una manera similar en ésser emprats com a envasos de transport o emmagatzematge o si, per contra, uns dissenys s'adequarien millor que d'altres a aquestes funcions.

Tanmateix, com ja hem esmentat en repetides ocasions, el canvi en el disseny de les àmfors romanes només és una part de la història d'un canvi tecnològic més ampli. Aquestes àmfors romanes, per la seva banda, substitueixen als models amforals ibèrics produïts en els mateixos territoris del que serà la província romana de la Tarraconensis, i distribuïts per diversos indrets de la Mediterrània fins al final de la segona guerra Púnica (Tsantini 2007). Es tracta, doncs, d'un doble procés de canvi. D'una banda, els tipus amforals romans substitueixen als dissenys ibèrics precedents, de clara tradició púnica, i, d'altra, es produeix un canvi en el disseny dels mateixos envasos romans. Per

aquesta raó, i per tal d'ampliar la perspectiva del nostre estudi de canvi tecnològic, l'AEF també ha estat aplicat a un disseny representatiu de les àmfores ibèriques. D'aquesta manera es podrà realitzar una primera avaluació conjunta de les competències tècniques dels diferents dissenys amforals.

En aquest apartat pararem especial atenció als fonaments teòrics d'aquest mètode, en els factors que permeten efectuar la predicció de la fallida de l'artefacte, així com en la seva especial utilitat en la recerca arqueològica, concretament en l'estudi del canvi tecnològic en ceràmiques.

### **6.7.2 El MEF: Una aproximació a la complexitat real**

Certament, la complexitat que manifesten molts fenòmens —naturals i culturals— fa que sigui pràcticament impossible assolir una comprensió satisfactòria del seu comportament a partir d'una sola operació global. Per aquesta raó, un dels procediments més habituals a l'hora de generar coneixement consisteix en dividir el fenomen en estudi en les seves parts constituents. Posteriorment, s'analitzen aquestes parts per separat i es reconstrueix el sistema o fenomen original a partir del coneixement obtingut. De fet, aquesta tesi està construïda sobre aquest plantejament analític. Per tal d'abordar l'aparent complexitat del fenomen de les àmfores i plantejar explicacions sobre aquesta tecnologia —el seu paper en el context cultural en què foren produïdes i emprades, la distribució dels diferents dissenys, la tecnologia emprada en la seva producció, etc.—, hem aplicat un programa analític que contempla l'estudi d'aquest sistema a partir dels seus components individuals —ja siguin elements químics, fases minerals, o freqüències de desgreixador. Aquesta és, precisament, la idea subjacent en el MEF.

A partir d'aquest plantejament, el procediment científic acostuma a crear models, més o menys acurats, del fenomen en estudi, emprant un nombre finit de components definits prèviament. Els problemes que sorgeixen d'aquests models són anomenats problemes discrets, en tant que el sistema apareix dividit en un nombre determinat d'elements clarament diferenciats. Això no obstant, en la majoria de casos, la divisió del sistema en estudi es pot mantenir indefinidament i, només, pot ésser descrit de manera acurada mitjançant l'abstracció matemàtica, fent servir equacions



diferencials d'un nombre infinit d'elements implicats. En aquest cas concret, els problemes que deriven d'aquests sistemes són anomenats problemes continus, la solució dels quals resulta, evidentment, molt més complexa que en el cas dels sistemes discrets.

Actualment, la capacitat de càlcul mitjançant els ordinadors personals fa possible la resolució dels problemes de natura discreta d'una manera relativament senzilla, fins i tot quan el nombre d'elements que configuren el sistema és molt elevat. Pel que respecte els sistemes de naturalesa continua, donat que la capacitat de càlcul i de processament dels ordinadors és finita, la solució a aquests problemes exigeix d'una aproximació acurada mitjançant el que es coneix com a mètodes de discretització (Akin 1986; Reddy 2005; Zienkiewicz i Taylor 1994, 2004). I això és precisament el MEF; una aproximació numèrica a problemes de naturalesa continua a partir de la discretització del sistema en estudi. Així, per exemple, un objecte qualsevol de natura continua és transformat en un model de natura discreta, dividint el continu amb un nombre finit de parts interconnectades —els elements finits. A cada un dels elements finits se li atribueixen les característiques que, de la manera més adient possible, poden descriure el seu comportament en el context d'una determinada activitat. De fet, aquestes paràmetres característics queden associats als punts d'unió de cada element finit amb els seus elements adjacents; els anomenats nodes. D'aquesta manera, el que era un sistema de natura continua esdevé un sistema format per la unió de diversos sistemes discrets. Així, la resolució del que eren funcions matemàtiques complexes passa a ésser la resolució de les funcions que descriuen el comportament dels nodes com a funcions d'interpolació.

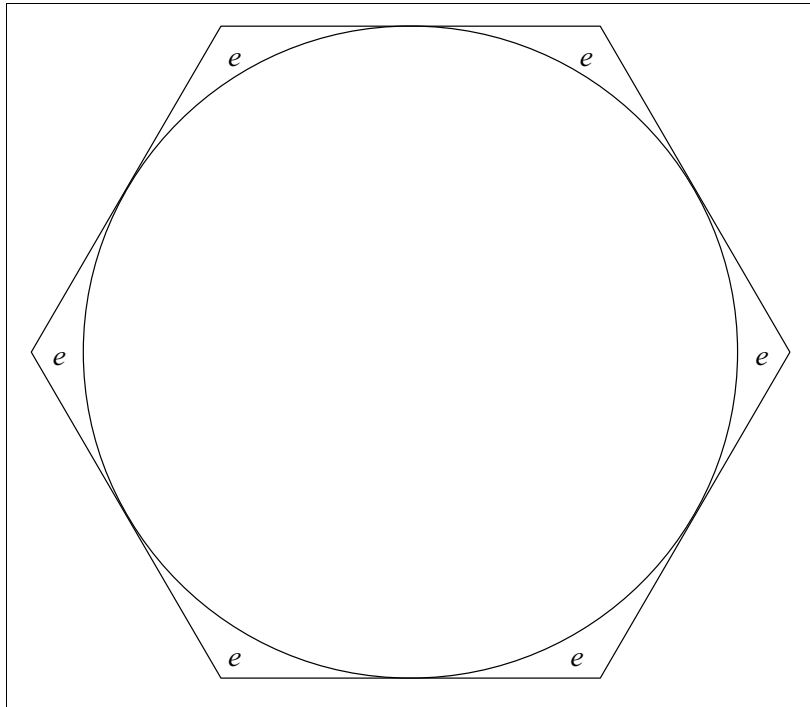
Els mètodes de discretització, i concretament el desenvolupament del propi MEF, sorgeix de la recerca formulada des del camp de les Matemàtiques i de l'Enginyeria, durant la dècada dels anys 40 i 50 del segle XX. La formulació intuïtiva de treballs clàssics com el de Turner (1956) ja demostraven que les propietats d'un sistema continu poden ésser substituïdes assumint que els seus petits components (elements finits) es comporten d'una certa manera simplificada. El principi subjacent d'aquesta formulació és que es pot aconseguir una solució aproximada a un problema de natura continua, i per tant amb infinits graus de llibertat, a partir de la seva reducció a un problema discret on hi participin un nombre finit de variables (associades a certs

punts característics, els nodes).

De tot el que hem dit anteriorment se'n desprèn una asserció que és important tenir present en l'aplicació d'aquest mètode, molt especialment en la interpretació dels resultats: el MEF és una representació aproximada de la realitat. Aquesta asserció apareix il·lustrada en la Figura 31. En aquest cas hipotètic, el sistema que volem estudiar apareix representat per una circumferència, la qual representa una funció continua. La resolució mitjançant el MEF comporta que el sistema sigui discretitzat a partir de la divisió en un nombre determinat d'elements ( $e$ ) que, d'una banda, representen el sistema original, i d'altra, simplifiquen el problema del càlcul de la funció continua. Com es pot observar en la Figura 31, el conjunt d'elements no representen completament el sistema original (la superfície real no queda completament coberta pel conjunt d'elements), la qual cosa il·lustra el fet que es tracta d'una aproximació a una funció continua. Ara bé, és important precisar que en el MEF es pot millorar l'exactitud d'aquesta aproximació reduint la mida  $i$ , consegüentment, augmentant el nombre d'elements finits ( $N$ ) que configuren el model (Madenci i Guven 2005). En qualsevol cas, s'espera que, quan  $N \rightarrow \infty$ , les solucions aproximades pel MEF convergeixin a una solució independent de les eleccions realitzades per l'investigador/a en el procés de discretització.

De manera general podem dir que, considerant el MEF com una aproximació numèrica a problemes continus, la seva aplicació permet:

- 1) Un millor coneixement del comportament estructural de qualsevol artefacte.
- 2) Simular les interaccions de l'artefacte en el context d'una determinada activitat.
- 3) Predir i avaluar les causes que provocarien el seu trencament.
- 4) Avaluar els canvis en el comportament mecànic que puguin derivar d'una modificació en el seu disseny.



**Figura 31.** Discretització geomètrica d'una funció contínua (representada per la circumferència) mitjançant elements finits ( $e$ ).

### 6.7.3 L'avaluació d'un disseny ceràmic

Un dels objectius d'aquest treball és establir un model per a caracteritzar la tecnologia de les àmfores. Una manifestació visible de la variació d'aquesta tecnologia és el canvi en les formes dels envasos. I és precisament en relació a aquest darrer aspecte on l'Anàlisi dels Elements Finitos (AEF) jugarà un paper decisiu. Una de les competències més valorades en qualsevol tecnologia és evitar la fallida; el seu trencament durant l'ús (Kingery 2001). Clarament aquesta competència hauria d'haver jugat un paper important en el procés de disseny i producció d'uns envasos destinats específicament al transport naval d'un bé de consum. En aquest sentit, les propietats mecàniques del material amb el qual es varen fabricar els envasos —la ceràmica— per bé que estan relacionades amb aquesta competència, són insuficients per a una correcta avaluació tecnològica. La forma específica de tot l'envàs ha d'ésser necessàriament considerada si

el que es pretén és avaluar-ne el seu comportament en el context d'una activitat.

Abans de presentar els conceptes bàsics, la formulació i el procediment seguit en l'AEF, exposarem una aproximació intuïtiva sobre aquest mètode amb la intenció de facilitar la comprensió dels següents apartats.

Com ja hem dit, l'AEF és una tècnica de simulació per ordinador que, mitjançant el mètode numèric dels elements finits, permet estimar el grau de deformació que podria experimentar un objecte abans de la seva fallida. Anem a veure la idea subjacent de l'AEF i en què es basa per a efectuar aquesta predicció.

Imaginem un objecte qualsevol. Si li apliquem una força, per exemple, amb les nostres pròpies mans, aquest objecte patirà una deformació, és a dir, un canvi en la seva forma —tot i que, tal vegada, no sigui perceptible als nostres ulls. En qualsevol cas, aquesta deformació desapareixerà en el moment en què li deixem d'aplicar la força i l'objecte recobrarà a la seva forma original. Aquest tipus de deformació rep el nom de deformació reversible o elàstica. Ara bé, si la força que li apliquem és suficientment gran, l'objecte pot patir una deformació irreversible i que, per tant, no desaparegui en deixar d'aplicar-li la força. En aquest cas, aquesta deformació rep el nom de deformació plàstica. És més, si anem més enllà i li apliquem una força encara més gran, aquesta deformació irreversible pot donar lloc a l'aparició d'una fractura i al trencament complet de l'estructura de l'objecte, el que provocaria irremediablement la seva fallida.

Sembla clar, doncs, que l'aparició d'una fractura depèn en primera instància del tipus de força aplicada, però també del material del qual està fet l'objecte. Així, per exemple, sota unes mateixes circumstàncies, una ampolla de plàstic mostrarà un major grau de deformació abans de la fractura que no pas una de ceràmica. Per a predir quan es produirà la fractura d'un objecte és necessari, doncs, conèixer algunes de les propietats físiques del material que volem analitzar.

Tanmateix les propietats físiques del material no són suficients per conèixer quan es produirà una fractura en un objecte. La seva geometria específica és tant o més important, donat que també condiona la seva resistència a les fractures; una ceràmica amb unes parets més gruixudes, per exemple, tindrà una major resistència que no pas una amb les parets més primes (i el mateix és vàlid per a l'ampolla de plàstic). És precisament a partir d'aquestes consideracions que l'AEF pren importància com a

tècnica d'anàlisi, en tant que calcula la deformació que experimenta un objecte en ésser sotmès a una determinada força a partir de l'anàlisi conjunta de les propietats físiques i de la seva geometria específica.

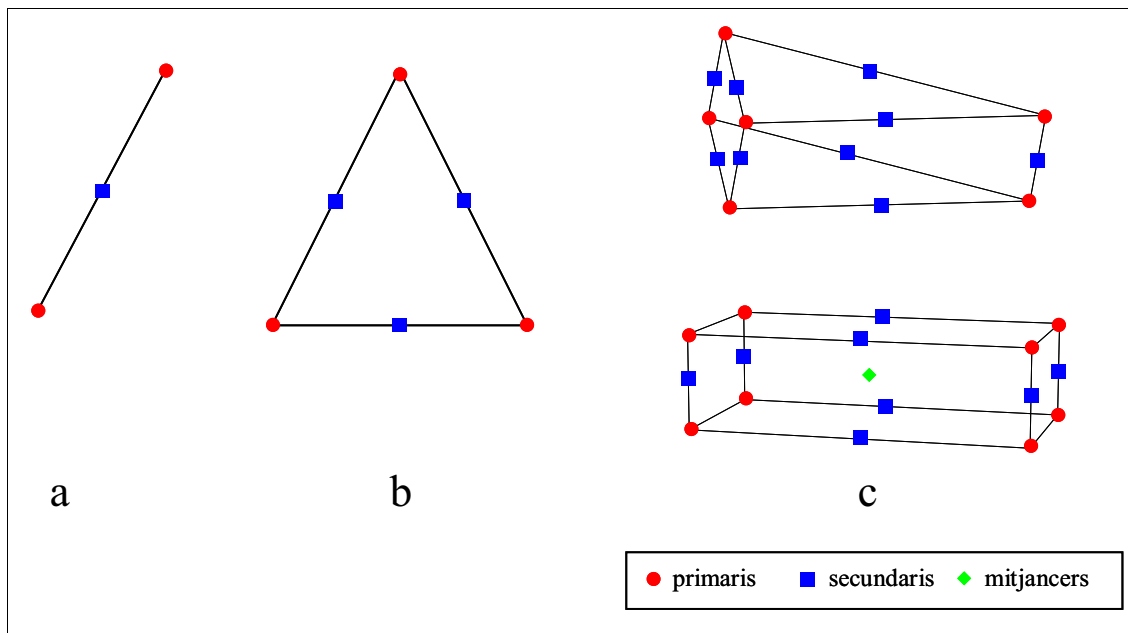
Les forces aplicades a l'objecte, així com els càlculs necessaris per a conèixer el moment en què es produirà el seu trencament es realitzen mitjançant una simulació per ordinador. Com exposarem en detall més endavant, el primer pas en l'AEF és crear per ordinador un model acurat de l'objecte que es pretén analitzar. Aquest model és posteriorment dividit en un cert nombre de petites unitats (els elements finits) que estan connectades entre sí i que poden presentar diverses formes geomètriques (paral·lelepípede, piràmide, etc.). Per tal de completar el model del nostre objecte, les propietats físiques del material del qual està fet, i que han estat calculades prèviament, li són atribuïdes a cada un d'aquests elements finits. D'aquesta manera s'aconsegueix un model que no sols representa la forma específica de l'objecte sinó que també compta amb les seves propietats físiques i, per tant, amb la seva capacitat específica de deformació.

Un cop creat el model, el darrer pas és aplicar mitjançant una simulació per ordinador les forces en el context de les quals volem avaluar el comportament del nostre objecte. La interpretació dels resultats és força senzilla: si la deformació que experimenta l'objecte és superior a la deformació que es capaç de suportar el material, el resultat s'ha d'entendre com una fallida de l'objecte a causa del seu trencament.

#### **6.7.4 Conceptes bàsics i formulació**

El MEF es considera una generalització del càlcul matricial d'estructures (Akin 1986; Szabo i Babuška 1991; Zienkiewicz i Taylor 1994). L'ús més habitual d'aquest mètode és en el càlcul d'estrès i desplaçaments que es poden produir en sistemes sòlids. O expressat amb altres paraules, per tal d'estimar el grau de deformació que patirà un artefacte en ésser sotmès a unes determinades condicions d'estrès (pressions, impactes, tensions, etc.). D'aquesta manera es poden conèixer sota quines circumstàncies es produirien fractures crítiques i, en conseqüència, el trencament de l'artefacte en estudi. La funció del MEF consisteix en transformar un medi continu (ja sigui un artefacte senzill o un sistema complex) en un model format per un conjunt d'elements

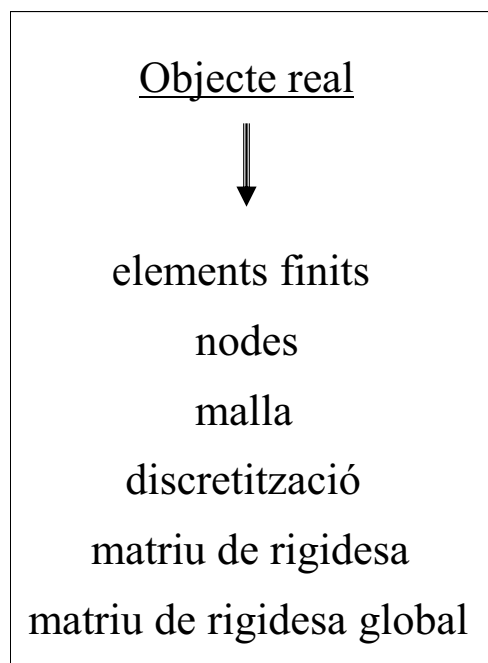
interconnectats mitjançant uns punts de contacte: els nodes (Figura 32). Així, tant el límit com l'interior del sistema continu és subdividit per punts, línies o superfícies en un nombre finit de subregions de mida discreta: els elements finits. Paral·lelament, també s'estableix un nombre finit de nodes, que són els punts d'unió d'un element finit amb els seus adjacents. En funció del lloc a on es situen, els nodes es classifiquen en primaris, secundaris i mitjancers. Donat que els elements només estan connectats entre sí pels nodes, la resolució del model esdevé la resolució d'un sistema finit de funcions d'interpolació o funcions de forma (Frías 2004: 111-144).



**Figura 32.** Tipus de nodes en un element finit. **a:** element unidimensional; **b:** element bidimensional; **c:** elements tridimensionals.

Tant els elements finits com els nodes són identificats individualment per un número. A cada node, se li assigna un nombre de graus de llibertat, que representa els paràmetres que es considera que han de governar la formulació del problema a resoldre (per exemple, les propietats físiques del material del que està fet l'objecte en estudi). Així, un element finit tindrà un nombre determinat de nodes associats que es poden localitzar bé en els límits de l'element bé en el seu interior. Aquest aspecte és especialment rellevant en la formulació del MEF, ja que les funcions de forma es classifiquen en funció de la participació exclusiva dels nodes situats en els límits de l'element (serendípides) o si s'inclouen també els nodes mitjancers (lagrangianes). Així

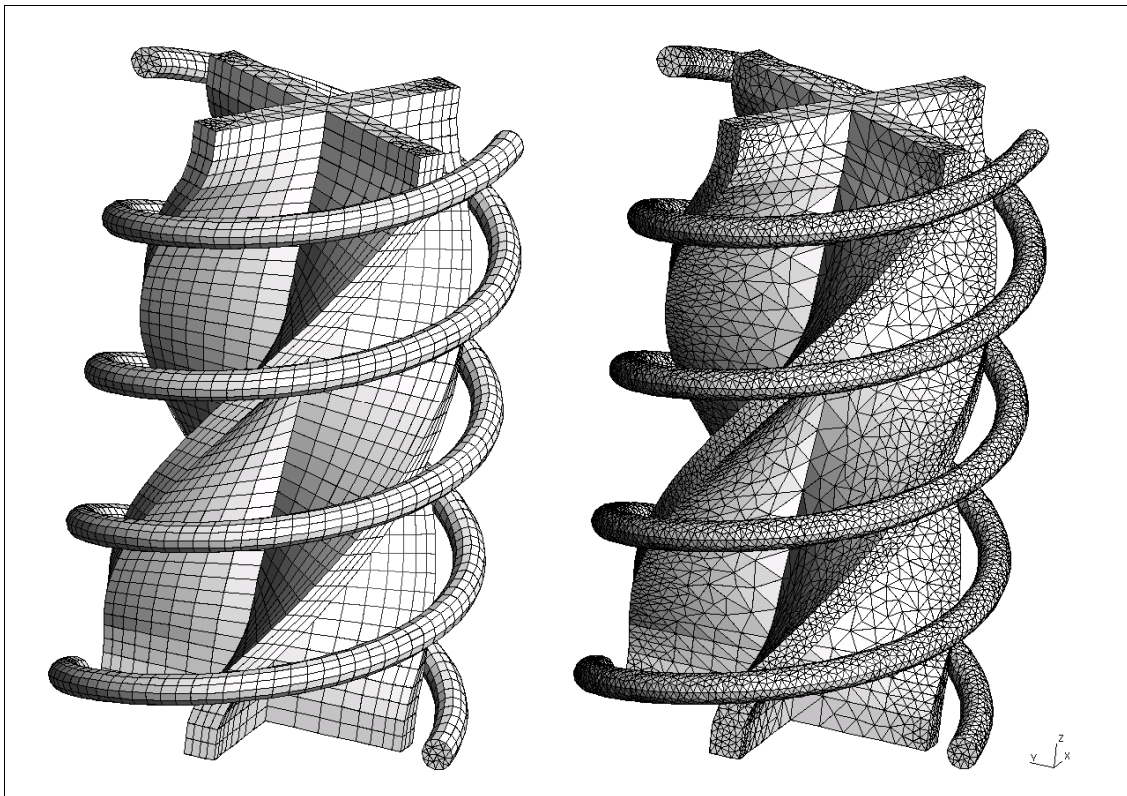
mateix, per tal d'obtenir una millor adequació del model d'elements finits a l'objecte real, també hi ha funcions d'interpolació que permeten la transformació de la geometria dels elements, el que resulta especialment útil, per exemple, a l'hora d'aconseguir elements amb costats curvilinis. Al llarg de tot aquest procediment es defineix el nombre total de graus de llibertat del model. Aquest és producte del número de nodes i del número de paràmetres associats per node. Igualment, el nombre total de graus de llibertat associat a un element determinat queda definit pel producte del nombre de nodes de l'element i els graus de llibertat per node.



**Figura 33.** Conceptes generals del MEF.

Fins aquí, hem passat d'un objecte real a la creació del seu model a partir de la divisió de la regió de l'objecte en petites regions de mida i geometria coneguda (elements finits) i que estan interconnectades per nodes. El procés de dividir l'objecte real en un conjunt de petits elements és coneix com a discretització (Figura 34). El conjunt d'elements interconnectats formen el que s'anomena la malla d'elements finits. Així doncs, la geometria i la mida específica dels elements finits definiran la densitat de la malla del model creat. Com ja hem apuntat anteriorment, la densitat de la malla

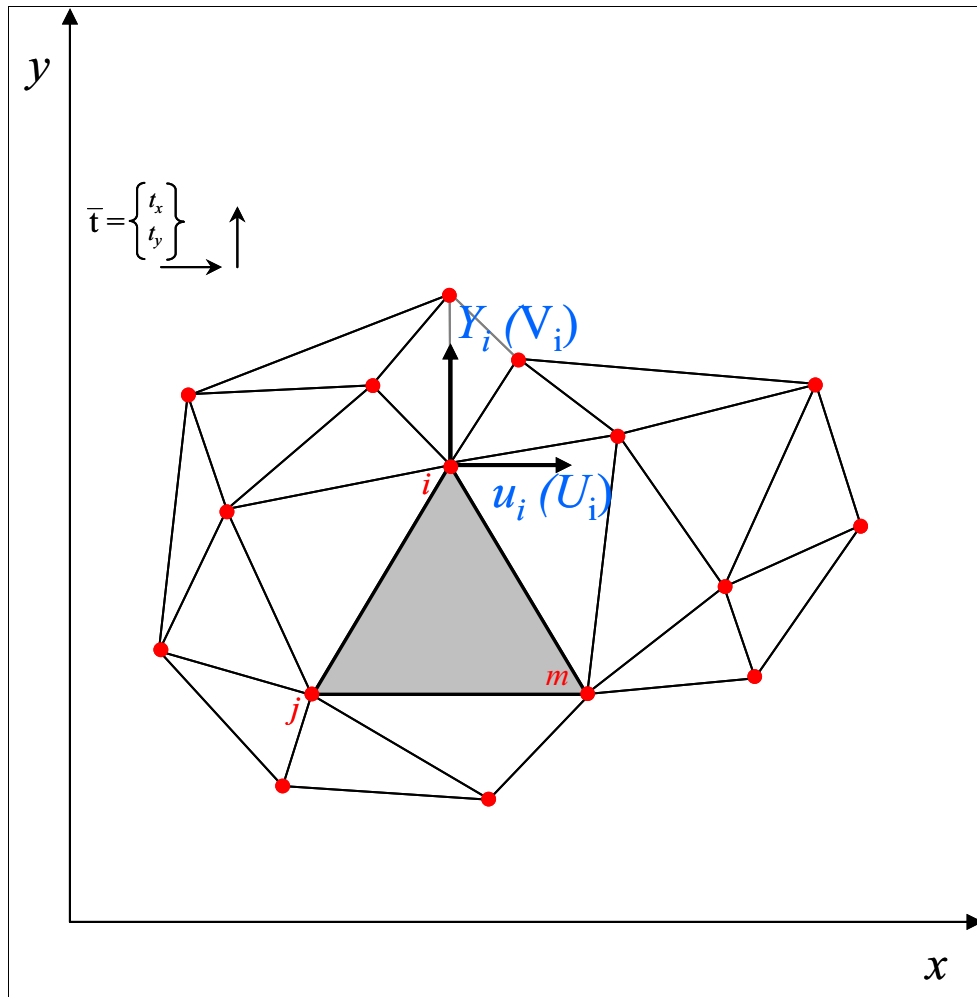
emprada per a generar el model de l'objecte afectarà a l'exactitud dels resultats obtinguts en la simulació. Donat que aquesta malla d'elements finits substitueix la regió real en estudi, les funcions contínues reals són substituïdes per funcions en intervals discrets. Per tant, l'exactitud i la fiabilitat dels resultats estaran condicionades per la densitat de la malla i per la geometria específica de l'element triat. Quant més petits siguin els elements i més fina sigui la malla, més acurada serà l'aproximació a la realitat.



**Figura 34.** Diferents models d'elements finits d'un mateix artefacte hipotètic. Es pot observar com la malla de la dreta és més fina i refinada que la de l'esquerra.

En el cas de tractar problemes que afecten l'aplicació de forces i el desplaçament que causen en un sòlid, per a cada un dels elements finits es genera una matriu de rigidesa, substituint les funcions d'interpolació en formes integrals. Un cop s'han establert les matrius per a cada element, l'efecte combinat de totes les matrius permet generar la matriu de rigidesa global que representa una aproximació al comportament de tot el model.





**Figura 35.** Regió d'una malla d'elements finits amb indicació de les coordenades  $(i, j, m)$  i el desplaçament dels nodes d'un element.

Un dels exemples més emprats per a il·lustrar l'aplicació del MEF és a partir d'una barra sotmesa a una tensió plana<sup>26</sup>. En la Figura 35 s'il·lustra una regió de la barra sotmesa a una tensió plana dividida en elements finits amb les corresponents coordenades i desplaçaments dels nodes d'un element concret.

L'element està definit pels seus nodes  $i, j, k$ , etc., (en aquest cas, tres nodes primaris), així com per les línies que els uneixen. Els desplaçaments de qualsevol punt de l'element pot ésser descrit per un vector columna:

<sup>26</sup> En el nostre cas, hem seguit el procediment i les expressions formulades per Zienkiewicz i Taylor (1994: Capítol 2).

$$\vec{u} = \sum N_i a_i^e = [N_i, N_j, \dots] \left\{ \begin{array}{c} a_i \\ a_j \\ \cdot \\ \cdot \end{array} \right\}^e = N a^e$$

On els components de  $N$  són les funcions de posició o funcions de forma i  $a^e$  és el vector resultant dels desplaçaments dels nodes de l'element considerat. Així, en el cas d'una tensió plana, el desplaçament horitzontal i vertical de qualsevol punt de l'element està representat per:

$$u = \left\{ \begin{array}{c} u(x, y) \\ v(x, y) \end{array} \right\}$$

i els corresponents desplaçaments del node  $i$  estan representats per:

$$a_i = \left\{ \begin{array}{c} u_i \\ v_i \end{array} \right\}$$

Un cop determinats els desplaçaments per a tots els punts de l'element, es poden conèixer les deformacions ( $\varepsilon$ ) experimentades en qualsevol punt, de manera que:

$$\varepsilon = S u$$

Mitjançant l'expressió del vector columna ( $u$ ), l'expressió anterior es pot aproximar també com:

$$\varepsilon = B a$$

o

$$B = S N$$

On  $S$  representa un operador lineal. Així, en el cas d'una tensió plana, les deformacions més rellevants, que es produeixen en el pla de la barra, es poden expressar

en funció dels desplaçaments amb les relacions que defineixen S:

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\delta_u}{\delta_x} \\ \frac{\delta_v}{\delta_y} \\ \frac{\delta_u}{\delta_y} + \frac{\delta_v}{\delta_x} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\delta}{\delta_x}, 0 \\ 0, \frac{\delta}{\delta_y} \\ \frac{\delta}{\delta_y}, \frac{\delta}{\delta_x} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix}$$

Un cop determinades les funcions de forma  $N_i, N_j, N_m$ , es pot obtenir la matriu B on, si s'aplica una expressió lineal per a aquestes funcions, les deformacions seran constants en tot l'element.

Un aspecte a tenir present en l'aplicació del MEF és que, en la realitat, el material que queda inscrit a dintre d'un element finit pot presentar deformacions inicials. Per tant, s'ha de considerar que la tensió resultant de l'aplicació d'una força serà la diferència entre les deformacions reals i les deformacions inicials ( $\varepsilon_0$ ). Igualment, es pot assumir que, abans de realitzar l'anàlisi dels elements finits, l'artefacte a analitzar pot presentar un sistema de tensions residuals inicials ( $\sigma_0$ ), la predicció del qual depèn completament de les característiques del material amb el qual està fet l'artefacte en qüestió. Així doncs, aquestes tensions són afegides a l'equació general. Assumint un comportament elàstic lineal general, la relació entre les tensions i les deformacions serà lineal i vindrà donada per l'expressió:

$$\boldsymbol{\sigma} = D(\boldsymbol{\varepsilon} - \boldsymbol{\varepsilon}_0) + \boldsymbol{\sigma}_0$$

On D és la matriu d'elasticitat que representa les propietats del material.

D'altra banda, les forces que actuen sobre els nodes es poden definir com a estàticament equivalents a les tensions del contorn i a les forces distribuïdes que actuen sobre l'element. Així, aquestes forces es poden expressar com:

$$q^e = \begin{Bmatrix} q_i^e \\ q_j^e \\ \cdot \\ \cdot \end{Bmatrix}$$

Així, cada força  $q_i^e$  tindrà el mateix nombre de components que el desplaçament del node  $a_i$  corresponent. Les forces distribuïdes són les que actuen per unitat de volum en direccions corresponents als desplaçaments del punt en qüestió. En l'exemple d'una tensió plana, les forces que actuen sobre els nodes son:

$$q_i^e = \begin{Bmatrix} U_i \\ V_i \end{Bmatrix}$$

A partir d'aquí, la relació entre les forces que actuen sobre els nodes —amb les conseqüents tensions en el contorn— i les forces distribuïdes es determina mitjançant l'aplicació d'un desplaçament virtual als nodes de manera que s'iguali el treball exterior realitzat per les forces nodals al que prové de les tensions i forces distribuïdes durant aquest desplaçament (Szabo i Babuška 1991; Zienkiewicz i Taylor 1994, 2004). Com a resultat d'aquest procediment s'obté l'expressió:

$$q^e = \int_{V^e} B^T \sigma \cdot dV - \int_{V^e} N^T b \cdot dV$$

On  $V^e$  representa el volum de l'element  $e$ . Aquesta fórmula és d'aplicació general independentment de les relacions entre tensions i deformacions. Així, si les tensions segueixen una llei lineal, l'expressió anterior es pot formular de la següent manera:

$$q^e = K^e a^e + f^e$$

On  $K$  és la matriu de rigidesa:

$$K^e = \int_{V^e} B^T D B d(vol)$$

i

$$f^e = - \int_{V^e} N^T b d(vol) - \int_{V^e} B^T D \varepsilon_0 d(vol) + \int_{V^e} B^T \sigma_0 d(vol)$$

En aquesta darrera expressió apareixen formulades les forces causades per les forces distribuïdes, les deformacions inicials i, finalment, les tensions inicials. Finalment, cal afegir que, en cas de considerar forces distribuïdes per unitat de superfície ( $t$ ), s'hauria d'afegir un terme addicional a les forces nodals de l'element de superfície APeP:

$$- \int_{A^e} N^T t \cdot dA$$

On  $t$  haurà de comptar amb els mateix nombre de components que  $u$  per tal que l'expressió anterior sigui vàlida. Un cop obtinguts els desplaçaments dels nodes amb la resolució de les equacions, es poden determinar les tensions generades en qualsevol punt de l'element del model seguint:

$$\sigma = D B a^e - D \varepsilon_0 + \sigma_0$$

### 6.7.5 Procediment en l'Anàlisi d'Elements Finites (AEF)

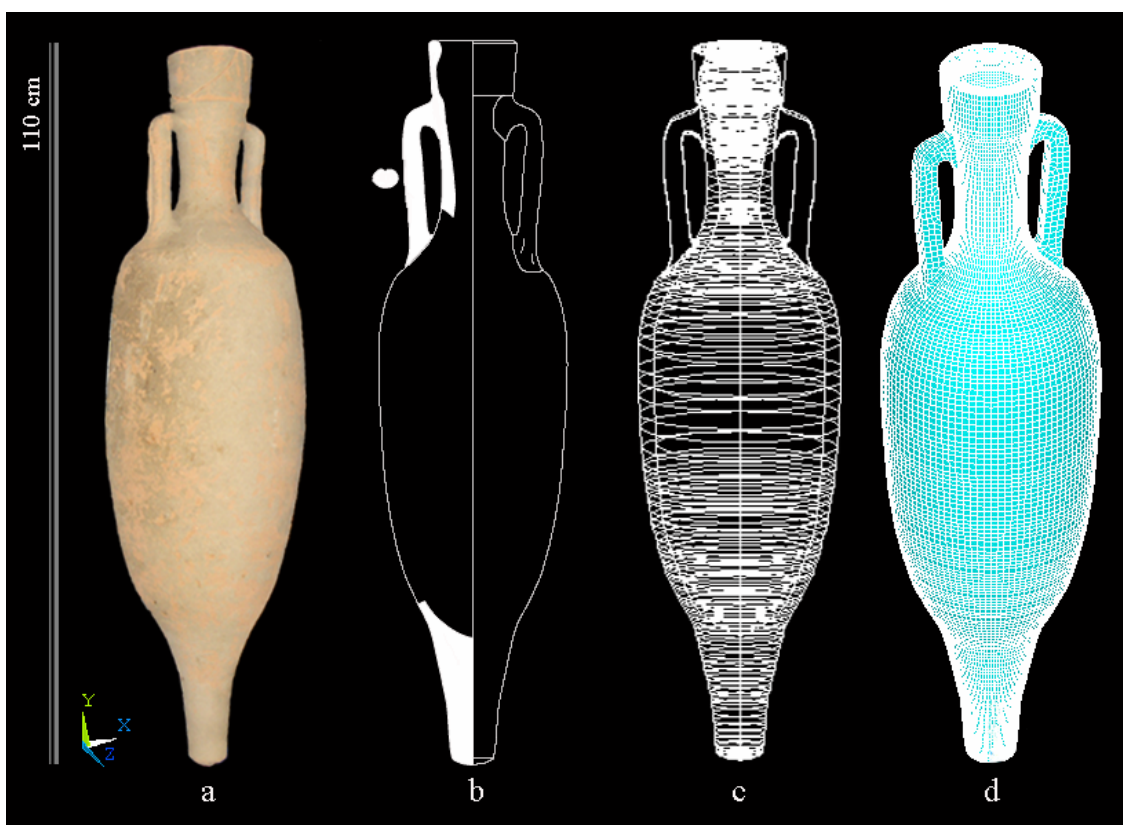
Actualment, l'Anàlisi d'Elements Finites es pot realitzar amb diversos paquets informàtics que, en termes generals, presenten la mateixa estructura de funcionament. En el nostre cas, els AEF dels diferents dissenys amforals s'han realitzat amb el paquet comercial ANSYS Multiphysics v. 7.0., el qual disposa d'una extensa biblioteca de perfils per a l'anàlisi estructural (Madenci i Guven 2005).

El procediment per a la realització de l'AEF segueix tres grans blocs de treball que, de fet, són els mateixos en tots els programes de càlcul d'elements finits. Els tres blocs de treball són:

## 1) Preprocessament

El primer pas en l'AEF és crear per ordinador un model acurat de l'artefacte que es pretén analitzar. Com ja hem vist, els models d'elements finits poden ésser d'una, dues o tres dimensions. Amb l'objectiu de crear un model que representi de la manera més realista possible l'artefacte real, el més habitual actualment és crear models d'elements finits tridimensionals.

En la Figura 36 s'il·lustren les etapes seguides en la elaboració d'un model tridimensional d'elements finits d'una àmfora tipus Pascual 1. Així doncs, el primer requeriment per a efectuar l'AEF és disposar d'una representació gràfica que reproduïxi amb la màxima fidelitat la geometria específica de l'artefacte.



**Figura 36.** Creació d'un model tridimensional d'elements finits. **a:** Objecte real (àmfora Pascual 1); **b:** Representació gràfica bidimensional; **c:** Model tridimensional; **d:** Model tridimensional d'elements finits.

Pel que respecte el nostre cas d'estudi, aquesta representació gràfica s'ha obtingut dels dibuixos arqueològics tradicionals en dues dimensions (Figura 36 b). Posteriorment, aquest dibuix es transforma en un model tridimensional mitjançant un sistema de DAO (Figura 36 c) —en el nostre cas AutoCAD v. 2007—, el qual permet l'exportació en fitxers compatibles amb el programa de càlcul d'elements finits.

El següent pas és seleccionar el tipus d'anàlisi que es vol efectuar —que ha de representar l'activitat en la qual es pretén avaluar el comportament de l'objecte—, així com els tipus d'elements finits que s'utilitzaran en la creació del model. En funció del tipus de càlcul, el paquet ANSYS Multiphysics v. 7.0. disposa de diferents tipus d'elements que resulten especialment adients per a cada aplicació. Així, per exemple, existeixen elements dissenyats per al càlcul de tensions uniaxials, electroestàtiques, tèrmiques, etc.

Paral·lelament, es seleccionen les propietats físiques del material (o materials) del que està fet l'objecte i que seran atribuïdes a cada un dels elements finits que configuraran el model final. D'aquesta manera s'aconseguirà un model que no sols representa la forma específica de l'objecte sinó que també compta amb les seves propietats físiques i, per tant, amb la seva capacitat específica de deformació i resistència davant l'aplicació de determinades forces. Les propietats físiques es poden obtenir de l'extensa biblioteca que disposa el programa informàtic, o bé a partir de l'anàlisi efectuat directament sobre el material en qüestió. En el nostre cas, les propietats físiques de la ceràmica han estat obtingudes a partir de l'estudi de la microestructura per MER i del càlcul de les propietats mecàniques descrites en l'apartat 5.6.

Els paràmetres específics que es requereixen per a realitzar un AEF en ceràmiques arqueològiques són el mòdul de Young ( $E$ ) i la raó de Poisson ( $\nu$ ) del material ceràmic (Kilikoglou i Vekinis 2002). El mòdul de Young ( $E$ ) descriu la capacitat del material a la deformació elàstica (reversible) al llarg d'un eix, en ésser sotmès a una determinada força. Aquest paràmetre està determinat per la microestructura de la ceràmica, incloent les microfractures, els defectes estructurals existents a la matriu com a resultat del procés de preparació de la pasta, les fases secundàries i les inclusions no-plàstiques. El mòdul de Young ( $E$ ) d'una ceràmica

arqueològica es pot inferir a partir de la correlació de la seva microestructura amb la d'un material ceràmic de referència (Kilikoglou et al. 1998), procediment que hem seguit en el nostre treball, o bé mitjançant tècniques de ressonància sònica i ultrasònica (ASTM 1989, 1991).

D'altra banda, la raó de Poisson ( $\nu$ ) es pot definir com la raó negativa entre la deformació transversal i la deformació longitudinal que experimenta un material en ésser sotmès a una tensió uniaxial. Expressat de manera més intuïtiva podríem dir que quan un material és estirat longitudinalment, els seus costats transversals tendeixen a encongir-se, essent  $\nu$  un indicador d'aquesta tendència. En la majoria de ceràmiques,  $\nu$  se situa generalment en el rang 0.18-0.30. Com en el cas anterior, aquest paràmetre es pot inferir a partir de la correlació de la microestructura ceràmica amb la d'un material de referència (Kilikoglou et al. 1998).

Un cop definides, les propietats físiques del material amb què es va fabricar l'objecte són assignades als elements finits i es procedeix a la discretització del model, és a dir, a crear la malla d'elements finits que configurarà el model de l'objecte (Figura 36 d).

Finalment, el darrer pas d'aquest bloc de preprocessament és la simulació de les activitats específiques en el context de les quals volem avaluar el comportament de l'objecte. Aquest pas suposa l'aplicació per ordinador de les forces exteriors que haurien actuat a sobre de l'objecte en el context d'una determinada activitat. D'aquesta manera podrem avaluar, per exemple, si els diferents dissenys d'àmfora haurien manifestat el mateix comportament en ésser alçades per les nanses, en ésser omplertes per un determinat contingut, o en ésser estibades a l'interior d'un vaixell de càrrega.

## 2) Càlcul

En aquest bloc s'avaluen les condicions introduïdes en l'entorn dissenyat prèviament. Així doncs, en aquest pas es realitzen tots els càlculs pel MEF. Els càlculs proporcionen l'estrès resultant de l'aplicació de les forces a l'objecte i, per tant, el corresponent grau de deformació. Els valors obtinguts mitjançant l'AEF són comparats amb la màxima deformació que pot experimentar el material (en el nostre cas concret, la ceràmica) i si la deformació que experimenta l'objecte és superior a la deformació que es capaç de



suportar el material, el resultat s'ha d'entendre com una fallida de l'objecte a causa del seu trencament.

En aquesta fase de l'anàlisi, doncs, es configuren tots els paràmetres —interval de temps, nombre d'iteracions, etc.— i s'inicia el càlcul; es simulen les càrregues al model d'elements finits, es generen les matrius de rigidesa, es resol el sistema d'equacions i es genera la solució global.

### **3) Postprocessament**

En aquest darrer bloc es generen les representacions gràfiques dels resultats obtinguts. La visualització gràfica dels resultats permet localitzar les zones concretes de l'artefacte on més es concentra l'estrès i a on es produeix una major deformació. Aquesta identificació es fa en paral·lel a l'avaluació de les dades numèriques obtingudes en l'anàlisi.

#### **6.7.6 Camps d'aplicació**

Des de mitjans de segle XX, el mètode dels elements finits ha estat emprat fonamentalment per predir el comportament d'estructures arquitectòniques en ser sotmeses a diferents forces, com per exemple les provocades per la mateixa circulació de persones o per l'acció del vent o de moviments sísmics. A partir de la millora en la capacitat i velocitat de càlcul dels ordinadors, l'aplicació de l'AEF ha esdevingut molt habitual en diverses àrees de l'enginyeria i del disseny, permetent superar les limitacions imposades pels mètodes d'anàlisi tradicionals. Així, la seva utilització en les obres d'enginyeria civil fa que actualment sigui possible predir quins seran els efectes provocats per vibracions sísmiques o vents en estructures de ponts, plantes nuclears o refineries i, per tant, considerar una millora dels materials de construcció o del disseny estructural abans de la seva construcció.

El sector de la construcció aeronàutica és un altres dels altres grans camps en el qual l'aplicació de l'AEF és rutinària. Quan viatgem en avió estem, en certa manera, posant les nostres vides en mans de la fiabilitat i l'exactitud d'aquests càlculs numèrics que fan possible conèixer quin serà el comportament de tota la nau sota unes

determinades condicions d'ús —des del fusellatge fins a la sivella del cinturó de seguretat (Szabo i Babuška 1991: 5-6). De manera similar, el camp de l'automoció fa servir aquest mètode d'anàlisi cada vegada amb més freqüència per tal de conèixer, per exemple, de quina manera es deformarà un vehicle en cas de col·lisió i poder considerar, així, possibles millores en el disseny i en els materials emprats en la seva construcció.

Les possibilitats que ofereixen actualment les simulacions per ordinador són aprofitades també en la recerca biomèdica. El seu ús en bioenginyeria permet, per exemple, valorar quin serà el rendiment d'un implant mecànic en un ésser humà. Ara bé, l'aplicació de l'AEF no es limita sols a testar tecnologies complexes i grans estructures. Els avantatges de l'aplicació d'aquesta tècnica d'anàlisi no han passat desapercibuts per als productors de tecnologies de consum diari, en tant que permet avaluar a priori la variació dels costos de producció de nous productes amb millors competències i amb dissenys més atractius per als consumidors; aquest és el cas de la fabricació d'ampolles de refrescs i de sostenidors femenins, per citar només dos exemples paradigmàtics (Madenci i Guven 2005).

En definitiva, es pot afirmar que l'aplicació d'anàlisis numèriques i la simulació per ordinador s'inclou plenament dins del procés de disseny de tecnologies contemporànies, sovint contemplant normatives estatals i supraestatals sobre límits exigibles de seguretat (Paik i Thayamballi 2003). En el cas de l'AEF, els resultats obtinguts són emprats per a decidir si el disseny d'un artefacte és acceptable o es requereixen canvis. En general, el procés de presa de decisions en aquest context consta de dues fases: el disseny de l'artefacte i la certificació del disseny. En la primera fase, l'atenció de l'anàlisi es centra en la relació entre els canvis de disseny i els corresponents canvis en les competències del prototip. Aquí els factors més valorats són la simplicitat i la fiabilitat del model virtual. L'objectiu és comparar i avaluar dissenys alternatius d'acord a uns determinats criteris —les competències que l'artefacte hauria d'acomplir. En aquest cas, la creació de models excessivament complexos no fa més que augmentar el temps de computació i, per tant, de l'obtenció dels resultats, cosa que en molts camps de l'enginyeria i el disseny pot suposar el fracàs en front de la competència. En la certificació del disseny, l'atenció es centra en les parts més problemàtiques des del punt de vista estructural. En aquest context, la millora d'un

disseny acostuma a estar en funció d'un compromís; generalment es consideren conjuntament les probabilitats de la fallida de l'artefacte, les conseqüències que podria tenir i l'increment del cost de producció en la seva millora.

Pel que fa a la recerca arqueològica, les aplicacions d'aquest mètode en l'estudi de ceràmiques són molt recents<sup>27</sup> (Hein i Kilikoglou 2007a, 2007b, en premsa; Hein *et al.* 2008; Kilikoglou i Vekinis 2002; Senjanović *et al.* 2004; Vila 2010; Vila *et al.* 2008). És important ressenyar que, en tots aquests casos, l'AEF ha estat aplicada en àmfores i envasos d'emmagatzematge. Una de les aplicacions més recents d'aquesta tècnica s'ha centrat en l'estudi tecnològic dels envasos d'emmagatzematge d'època minòica procedents de Myrtos (Creta). En aquest treball, Kilikoglou i Vekinis (2002) demostren que no hauria estat possible alçar els envasos plens per les dues nanses sense que aquestes s'haguessin trencat. A partir d'aquesta constatació, demostren que el seu alçament amb l'ajut d'una corda passada per l'interior de les nanses, al voltant de la perifèria de l'envàs, hauria representat la manera més fiable de realitzar aquest acció.

En un altre treball recent, Hein i Kilikoglou (2007a) apliquen l'AEF per a suggerir una causa explicatòria del canvi en el disseny de les àmfores d'època hel·lenística procedents de l'illa de Cos. Els resultats mostren com la variació formal de les àmfores es tradueix en un increment d'aproximadament el 20% de la seva capacitat de transport, mentre que es mantenen constants tant la quantitat d'argila necessària per a la seva confecció, com la resistència mecànica dels envasos. Els autors interpreten aquests resultats com la evidència d'una millora en termes d'eficiència econòmica.

Darrerament, aquests mateixos autors han implementat el mètode en l'estudi de les propietats refractàries de forns i ceràmiques involucrades en la producció metal·lúrgica de l'edat del Bronze xipriota (Hein i Kilikoglou 2007b).

En definitiva, sembla incontrovertible que l'AEF ofereix il·limitades oportunitats en els estudis arqueològics. A partir d'una simple representació gràfica de l'objecte a estudiar i de les seves propietats mecàniques bàsiques es poden plantejar explicacions acurades sobre les circumstàncies que haurien pogut provocar la seva fallida i que, per

---

<sup>27</sup> Cal destacar també diversos treballs en els que s'aplica l'AEF, i altres tècniques com l'anàlisi fotoelàstic, en l'estudi tomogràfic de jaciments (Griffiths i Barker 1994) i en l'anàlisi d'estructures arquitectòniques històriques (Black i Duff 1994; Martini 1998; Morris *et al.* 1995).

tant, poden aportar noves dades sobre processos de canvi tecnològic. La seva aplicació pot oferir noves dades sobre les variacions en el disseny de molts dels artefactes i tecnologies documentades diàriament en el registre arqueològic. De fet, el seu camp d'aplicació depèn exclusivament de la nostra imaginació. Artefactes lítics, vaixells, estructures arquitectòniques, forns, ceràmiques i, fins i tot, fòssils animals són casos paradigmàtics per a ser estudiats mitjançant aquesta tècnica.

### ***6.8 Tractament estadístic de dades composicionals***

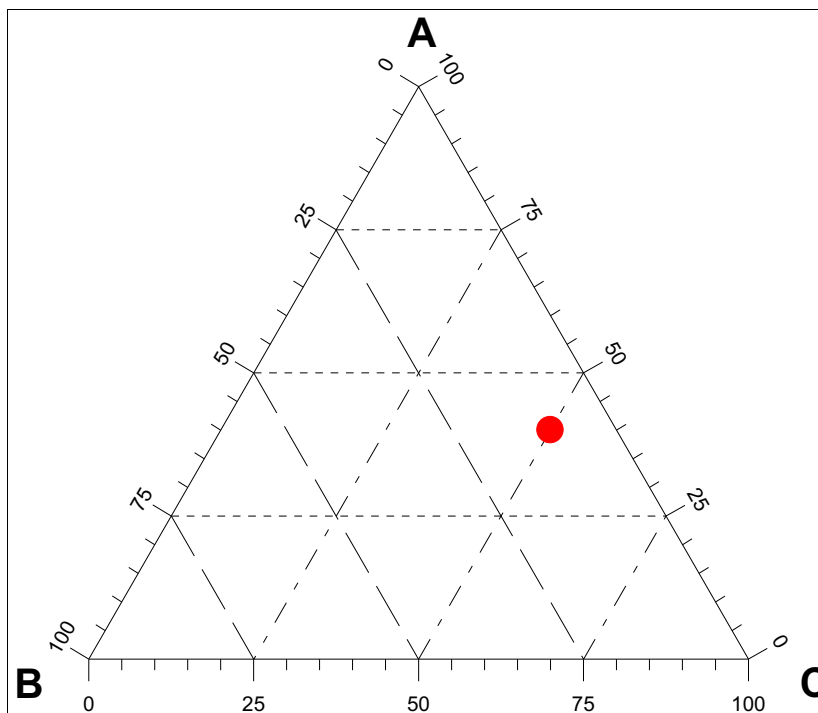
L'estudi tecnològic de molts artefactes contempla sovint la caracterització de la seva composició química. Aquest és el cas, per exemple, dels artefactes fets de ceràmica, vidre o metall. Igualment, l'anàlisi química és també un dels principals mètodes emprats per a establir la provinença d'aquests artefactes. En aquests casos, els resultats obtinguts de les anàlisis químiques acostumen a ésser tractats mitjançant tècniques estadístiques univariants i multivariants amb l'objectiu de descriure i identificar l'estructura present en les dades. Tanmateix, la manera en què han d'ésser tractades aquestes dades abans de realitzar qualsevol anàlisi estadística és un tema de debat actualment obert en Arqueometria (Aitchison et al. 2002; Baxter i Freestone 2006; Mommsen i Sjöberg 2007). El problema de fons rau en el fet que les dades obtingudes estan constrenyides a sumar una valor fixe, per exemple 100 (sense considerar els errors analítics) en cas de presentar els resultats en %. Aquestes dades constrenyides a una suma constant reben el nom de dades composicionals. La restricció esmentada fa que, de fet, les variables analitzades no siguin lliures de prendre qualsevol valor possible en tant que sempre n'hi haurà una que estarà determinada per la diferència entre 100 i la suma de totes les altres variables. Així mateix, aquesta restricció també comporta que si el valor d'una de les variables augmenta, el valor de totes les altres disminueix necessàriament.

En aquest apartat exposarem els problemes més rellevants que, en el context de la nostra recerca, poden aparèixer en el tractament estadístic de dades composicionals, així com la metodologia seguida per superar aquestes limitacions. Concretament, la nostra anàlisi estadística segueix la metodologia formulada originalment per Aitchison (1982). Així mateix, també seran esmentades altres metodologies que són emprades freqüentment en Arqueometria per a l'anàlisi estadística de dades composicionals.

### 6.8.1 Les dades composicionals

Les dades composicionals són aquelles variables que s'expressen com a parts d'un total, independentment de com es donin els resultats. Aquestes dades estan subjectes a l'anomenada restricció de suma la unitat, això és, que la suma dels seus components ha de ser una constant, per exemple 100 en cas de presentar les dades en % o 1 en cas de presentar-les en freqüències relatives. Així, una dada composicional  $x = (x_1, x_2, \dots, x_D)'$  amb  $D$  parts es pot representar com a un vector de components positives, essent la suma de totes elles una constant  $k$ . El seu espai mostral és el *simplex*  $S^D$  definit per:

$$x = \left\{ (x_1, x_2, \dots, x_D)' : x_i \geq 0; \sum_{i=1}^D x_i = k \right\} \in S^D$$



**Figura 37.** Representació d'una dada composicional hipotètica. El component A=40%; B=10%; C=50%.

Imaginem el cas que una dada composicional està formada per tres variables, de manera que el seu espai mostral sigui el *simplex*  $S^3$ . La representació gràfica per a aquests tipus de dades acostuma a ser un diagrama ternari, a partir d'un triangle

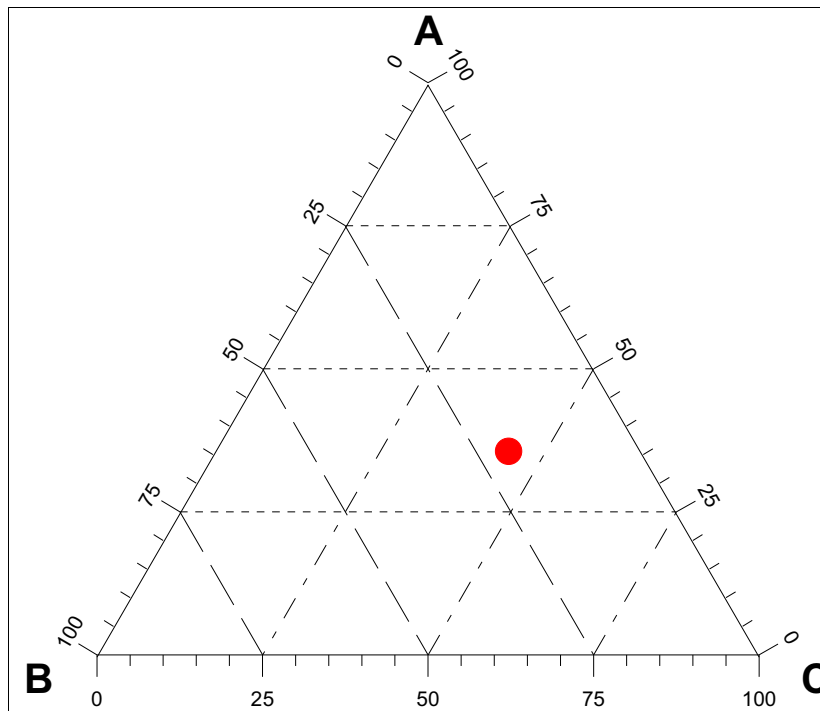
equilàter de costat  $k$ .

En aquest cas el diagrama ens informa sobre quant hi ha de cada component, expressat en tant per cent del total de la composició. Posem per cas que el punt vermell d'aquest diagrama representa la composició d'una ceràmica formada hipotèticament només per tres components (A, B i C). El percentatge del component A pot situar-se entre 0 i 100, des de la base fins al seu vèrtex. De manera similar, el percentatge del component B pot ésser de 0 si el punt es situa a sobre del costat oposat al seu vèrtex o 100 si està sobre el seu vèrtex. I el mateix és vàlid per al component C.

Ara bé, les dades que representen aquesta composició hipotètica estan tancades en una suma fixa. En aquest cas concret de dades composicionals, si un component representa el 40%, i un segon component representa el 10%, la tercera variable ha de representar necessàriament un 50%. És a dir, la tercera variable sempre vindrà donada per la resta de la suma de la primera i la segona variable de 100. Aquesta propietat que caracteritza les dades composicionals significa que les variables que defineixen el vector  $x$  no són lliures, en el sentit que el canvi en una de les parts provoca el canvi de totes les altres parts. Tornem al punt vermell representat a la Figura 37. En cas d'augmentar el valor d'un dels components, el valor dels altres quedaria modificat immediatament en la mateixa proporció. Imaginem que el component B, que representava el 10% de la composició, passa a tenir un valor que representa ara el 20% del total. La resta de components (A i C), que junts representaven el 90% de la composició, ara només poden representar el 80% del total. Per tant, el valor d'aquests components s'haurà reduït necessàriament en la mateixa proporció; en aquest cas concret, en funció d'un factor de 0.8 (= 80/90). En la Figura 38 s'ilustra com la modificació del valor del component B ha afectat al valor de la resta en la mateixa proporció, causant, així, l'aparició de certes correlacions entre els components d'abans i de després de la modificació dels valors.

És important tenir present que aquestes correlacions provocades per la restricció de suma la unitat no responen a relacions reals existents en les dades i, per tant, són correlacions espúries. Això és important perquè l'espai mostral de les dades composicionals (el símplex  $S^D$ ) és diferent de l'espai real euclidià en el que se situen les dades que no estan condicionades per la suma d'una constant. Per tant, els mètodes

estadístics que són vàlids per a les dades que no presenten aquesta restricció no poden ser aplicats vàlidament a les dades composicionals.



**Figura 38.** Modificació de la dada composicional hipotètica. El component A=35.5%; B=20%; C=44.5%.

Un dels principals problemes que presenten les dades composicionals és la impossibilitat d'interpretar correctament les covariàncies i els coeficients de correlació. Recordem que la intensitat de la relació entre dues variables normalment es mesura amb el coeficient de correlació lineal producte-moment de Pearson, que pren el valor 0 quan les dues variables són completament independents (l'augment o disminució d'una no influeix en l'altre), -1 quan la seva correlació és inversament proporcional (quan el valor d'una augmenta l'altre disminueix en proporció constant, o al revés), i 1 quan la seva correlació és directament proporcional (quan el valor d'una augmenta, l'altre també augmenta en proporció constant). Treballant amb dades composicionals, la matriu de correlacions habitual no pot considerar-se vàlida perquè presenta necessàriament un biaix negatiu en les seves variàncies, determinades per la restricció de suma la unitat (Aitchison 1986: 53-54). Aquestes correlacions varen ser batejades el 1897 per Karl

Pearson amb el nom de correlacions espúries, car falsegen les relacions de dependència i poden conduir a interpretacions errònies. Això invalida el valor de les covariàncies i correlacions en l'espai de les dades composicionals, ja que no són lliures de prendre qualsevol valor (nul, positiu o negatiu). Així, el fet que el coeficient de correlació entre dues parts d'una composició sigui 0 no pot ésser interpretat com a signe d'independència entre ambdues parts.

Una altre dels problemes que presenten les dades composicionals és la no adequació entre les relacions existents en la matriu de covariàncies d'una subcomposició i la de la composició original. Per exemple, en l'anàlisi química de les ceràmiques, típicament, sols es determina una subcomposició. En una ceràmica podrien estar presents, en major o menor quantitat, tots els elements de la taula periòdica, però generalment només s'analitzen un nombre inferior als 25-30 elements. Malgrat això, intuïtivament caldria esperar una relació entre la subcomposició i la composició total, el que representa l'anomenat principi de coherència subcomposicional (Aitchison 1982, 1986, 1997; Aitchison et al. 2002). No obstant, en dades composicionals és fins i tot possible que dues parts que estiguessin correlacionades positivament en la composició originària passin a tenir una correlació negativa si s'analitzen com a parts d'una subcomposició. Il·lustrarem aquest problema amb les dades que exposa el mateix Aitchison (1997). Imaginem a dues investigadores, que anomenarem A i B. Imaginem, també, que analitzen diverses mostres geològiques d'una mateixa àrea. La investigadora A calcula una dada composicional formada per 4 components (animal, mineral, vegetal i aigua), mentre que la investigadora B seca les mostres, eliminant-ne l'aigua, i calcula llavors una dada composicional formada per tres components (animal, mineral i vegetal). Sembla lògic pensar que les dades de la investigadora B són una subcomposició de les dades calculades per la investigadora A, i que qualsevol conclusió sobre les parts comunes hauria d'ésser igual per a les dues investigadores. Tanmateix això no és exactament el que succeiria en cas que tractessin les dades —sense transformar— amb tècniques estadístiques convencionals. Imaginem que els resultats de la investigadora A i de la investigadora B són els que apareixen en la Taula 5.1. Si es calculés la correlació existent entre els components animal i mineral, la investigadora A obtindria un valor de 0.5, mentre que la investigadora B obtindria una correlació de -1.



<i>Investigadora A</i>				<i>Investigadora B</i>		
<b>animal</b>	<b>mineral</b>	<b>vegetal</b>	<b>aigua</b>	<b>animal</b>	<b>mineral</b>	<b>vegetal</b>
0.1	0.2	0.1	0.6	0.25	0.50	0.25
0.2	0.1	0.1	0.6	0.50	0.25	0.25
0.3	0.3	0.2	0.2	0.375	0.375	0.25

**Taula 5.1.** Resultats hipotètics de dades composicionals. A partir d'Aitchison (1997).

En l'anàlisi de ceràmiques ens podem trobar problemes de la mateixa natura. Per exemple podríem tenir dues ceràmiques amb la mateixa provinença però que, a causa de diferències tecnològiques, presentessin diferències significatives en les seves composicions. Aquest podria ser el cas, per exemple, de dues ceràmiques cuites a diferents temperatures de cocció. Com ja hem esmentat en diverses ocasions, la temperatura de cocció comporta, entre d'altres coses, l'eliminació progressiva de l'aigua de composició de les argiles, així com d'hidrogen, oxigen i carboni. Aquests elements no es determinen en l'anàlisi química sinó que s'estimen calculant la pèrdua al foc (PAF). Així, dues ceràmiques provinents del mateix taller podrien presentar diferents valors de PAF en funció de quina hagi estat la seva temperatura de cocció. Buxeda (2001) il·lustra aquest problema de la següent manera. Imaginem que la composició de les dues ceràmiques està formada per 4 components:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  i PAF. Suposem que la ceràmica 1 hagués estat cuita a baixa temperatura i que la seva composició fos de 49.5% de  $\text{SiO}_2$ , 31.5 d' $\text{Al}_2\text{O}_3$  i 9% de  $\text{K}_2\text{O}$ . La suma d'aquestes concentracions representa el 90%, mentre que el 10% restant correspondria al valor de la PAF, que són els elements que no es determinen i que es perden durant la cocció. Suposem ara que la ceràmica 2 hagués estat cuita a alta temperatura, de tal manera que el valor de la PAF fos de 0%. Per tant, la suma de les concentracions de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{K}_2\text{O}$  no podria ser del 90% com en la ceràmica 1, sinó que hauria de suposar el 100%. Per tant, les concentracions d'aquests elements per a la ceràmica 2 podrien ser de 55% per al  $\text{SiO}_2$ , 35% per a l' $\text{Al}_2\text{O}_3$  i 10% per al  $\text{K}_2\text{O}$ . És a dir, unes diferències en la composició que no responen a diferències de provinença, sinó a diferències tecnològiques.

Un problema similar el podria provocar una altre factor tecnològic com és

l'addició de desgreixador (Beier i Mommsen 1994; Neff et al. 1988; Neff et al. 1989). En tots dos casos, la composició analitzada resulta modificada, no sols en els elements protagonistes de la variació (PAF, desgreixador), sinó que afecta a totes les concentracions, a causa de la restricció de suma la unitat en les dades composicionals.

### 6.8.2 La proposta d'Aitchison

Els problemes estadístics característics de les dades composicionals no fou resolt fins l'any 1982 quan Aitchison presenta la manera d'evitar les restriccions de la suma constat. Segons Aitchison, per interpretar correctament aquest tipus de dades cal centrar l'atenció, no en els valors absoluts dels components, ni en les seves freqüències relatives o percentatges, sinó en els valors relatius de les parts, és a dir en les raons de les parts. Treballant amb les raons dels components desapareixen els principals problemes que representen les dades composicionals. D'una banda desapareixen els problemes de les correlacions espúries i, d'altra, els valors relatius entre les parts d'una subcomposició no varien en relació als valors relatius entre les parts de la composició original.

La metodologia d'Aitchison parteix de transformar les dades composicionals a l'espai real n-dimensional. En aquest espai les dades no tenen restriccions i poden aplicar-se els mètodes estadístics habituals sense problemes. Hi ha diverses maneres de transformar les dades, essent una d'elles mitjançant logaritmes de raó entre els diferents components (Aitchison 1992, 1997). La proposta d'Aitchison és que el tractament estadístic s'efectui sobre les raons de les dades composicionals, ja que qualsevol composició  $x=(x_1, x_2, \dots, x_D)$  està determinada per les  $d$  raons dels seus components:  $x_i/x_D$  ( $i=1, \dots, d$ ;  $d=D-1$ ). D'aquesta manera, la transformació de les dades composicionals en logaritmes de raó permet preservar la coherència subcomposicional existent.

Aitchison (1982; 1986) posa de manifest que l'estructura de covariància d'una composició  $x$  amb  $D$  parts és el conjunt de totes les covariàncies:

$$\sigma_{ij.kl} = \text{cov} \{ \log(x_i/x_k), \log(x_j/x_l) \} \quad (i, j, k, l = 1, \dots, D)$$

mentre que les variacions relatives entre dos components queden definides com:

$$\tau_{ij} = \sigma_{ii} \cdot \sigma_{jj} = \text{var} \{ \log(x_i/x_j) \}$$

essent:

$$\tau_{ii} = 0 \quad (i = 1, \dots, D)$$

$$\tau_{ij} = \tau_{ji} \quad (i = 1, \dots, d; j = i+1, \dots, D)$$

D'aquesta manera, com totes les variàncies estan determinades pels  $\frac{1}{2}dD$  valors  $\tau_{ij}$  ( $i=1, \dots, d; j=i+1, \dots, D$ ), per a qualsevol  $i, j, k, l$  des de  $1, \dots, D$ :

$$\sigma_{ij \cdot kl} = \frac{1}{2}(\tau_{il} + \tau_{jk} - \tau_{ij} - \tau_{kl})$$

D'aquesta manera, l'estructura de covariàncies d'una composició  $x$  amb  $D$  parts està determinada per les  $\frac{1}{2}dD$  variàncies definides. Així, per una composició  $x$ , la matriu  $D \times D$ , que rep el nom de matriu de variació composicional, determina completament l'estructura de covariància:

$$T = [\tau_{BijB}] = [\text{var} \{ \log(x_i/x_j) \} : i, j = 1, \dots, D]$$

Aquests conceptes són implementats en l'estudi de la composició química de ceràmiques arqueològiques per Buxeda (1999). Aquest autor posa de relleu que, per a una subcomposició amb  $D$  parts transformada en logaritmes de raó, donada una relació  $\tau_{Bis} B = \sigma_{BiiB} \cdot B_{ssB}$ , els valors de la columna  $D$ -èssima d'una matriu de variació composicional són iguals als de la diagonal de la matriu de covariàncies calculada utilitzant el component  $x_{BsB}$  com a divisor:

$$\Sigma_s = [\sigma_{ij.ss}] = [\text{cov} \{ \log(x_i/x_s), \log(x_j/x_s) \} \quad (i, j = 1, \dots, S-1)]$$

A partir de la matriu de variació composicional es pot obtenir el valor de la variació total ( $v_t$ ) segons:

$$v_t = \frac{\sum_{i=1}^{i=D} \sum_{j=1}^{j=D} \tau_{ij}}{2D}$$

El valor  $v_t$  es considera la suma de totes les variàncies presents en la matriu de variació composicional dividides per dues vegades  $D$ , és a dir, el nombre d'elements considerats. Així, el valor resultant està relacionat amb les variàncies i covariàncies de l'estructura de covariància i permet estimar la variabilitat existent en el conjunt de les dades. A més, cal afegir que la variació total de les dades transformades en logaritmes de raó està en relació a la distància euclidiana entre els individus analitzats i, per tant, suposa un instrument robust per a quantificar la variació existent entre els individus.

Junt a la variació total, un altre dels valors que aporten informació valuosa en la matriu de variació composicional és el de la variància de cada element ( $\tau_i$ ). El valor  $\tau_i$  d'un element  $i$  és igual a la traça de la matriu de variàncies-covariàncies de les dades transformades en logaritmes de raó emprant aquest element com a divisor. Així, els valors  $\tau_i$  representen la variació introduïda per cada element en ésser emprats com a divisor.

Així doncs, podem concloure que la transformació d'una matriu de dades a partir de logaritmes de raó permet superar les limitacions imposades per la restricció de la suma a la unitat pròpia de les dades composicionals. A partir d'aquesta transformació, les dades podran ésser avaluades mitjançant l'aplicació de tècniques estadístiques univariants, bivariants i multivariants convencionals (Davis 1986; Shennan 1997). Així, les concentracions elementals dels individus es poden entendre com a coordenades en l'espai  $n$ -dimensional, on  $n$  és el nombre de dimensions (o variables) que s'utilitzin en cada cas. A partir d'aquesta idea, la distància a la que un individu es troba d'un altre d'acord amb els valors de les variables considerades indicarà el seu grau de similitud<sup>28</sup>.

La transformació de les dades en logaritmes de raó té, a més, l'avantatge d'ésser una transformació simètrica dels components, de manera que la raó entre dos components és de la mateixa magnitud, tant del component A respecte el component B com del component B respecte el component A. Suposem que el component A pren un valor de 4 i el component B pren un valor de 2. La raó del primer component entre el segon dona com a resultat 2 ( $4/2$ ), mentre que la raó de B entre A dona 0.5 ( $2/4$ ). En canvi, el logaritme natural de 2 és 0.69314 i el logaritme natural de 0.5 és de la mateixa magnitud però de signe diferent -0.69314, de manera que es manté la simetria entre les

---

<sup>28</sup> Per a una explicació del concepte de distància veure (Buxeda 2001; Davis 1986; Shennan 1997).

magnituds de les raons. La diferència de signes, tanmateix, no afecta ni a les variàncies ni a les covariàncies, ni al càlcul de les distàncies euclidianes ja que, en les operacions, aquests valors són elevats al quadrat. A més, la transformació en logaritmes de raó suposa una quasi-estandarització de les variables a l'hora de calcular les distàncies entre els individus. Això és especialment rellevant en el cas de l'anàlisi de ceràmiques donat que les concentracions dels elements presents a la mostra apareixen tant a nivell majoritari i minoritari com a nivell de traça. En cas de tractar amb les dades sense transformar, els elements majoritaris dominarien el càlcul de les distàncies, mentre que amb la transformació en logaritmes de raó tots els components hi participen amb un pes similar.

Un altre dels problemes que poden ser superats emprant els valors relatius entre els components d'una dada composicional són els que afecten a les diferències tecnològiques citades anteriorment (PAF, addició de desgreixador). Si tornem a l'exemple citat sobre les dues ceràmiques cuites a diferents temperatures podem observar com, tot i les diferències en les concentracions, les raons entre les concentracions dels elements que no participen directament de l'alteració (silici, alumini i potassi) són constants. Així, per exemple, la raó de l'alumini entre el silici per a la ceràmica 1 és 0.636363 (31.5/49.5), igual que per a la ceràmica 2 (35/55). D'aquesta manera, la utilització de les transformacions de les dades químiques en logaritmes de raó permet superar els problemes lligats a factors tecnològics, així com també els derivats de processos d'alteració i contaminació, sempre i quan no s'emprin en les raons els elements que han estat alterats (Buxeda 1999).

### 6.8.3 Altres metodologies

La transformació de les dades composicionals en logaritmes de raó és actualment una metodologia minoritària en la recerca arqueomètrica, mentre que el més freqüent és treballar directament amb les dades obtingudes de la lectura de l'anàlisi química, un cop han estat normalitzades (Baxter 2001; Baxter i Freestone 2006).

Els investigadors que tradicionalment més han treballat amb dades transformades són els procedents del Brookhaven National Laboratory (BNL) i del Missouri University Research Reactor (MURR). En aquests centres, les dades

químiques són obtingudes per ANN, essent en la major part elements traça expressats com a ppm. En aquest cas, la metodologia emprada es fonamenta generalment en la transformació de les dades en logaritmes de base 10. L'argument per a aquesta metodologia es basa en l'assumpció que la distribució de les variables s'aproxima, amb més probabilitat, a una distribució normal multivariant en una escala logarítmica (veure, per exemple, Glascock 1992). Així, les variables que presenten una distribució asimètrica, esdevenen més simètriques després de la transformació logarítmica de les dades, facilitant la intel·ligibilitat de les representacions gràfiques que resulten del tractament estadístic.

Arribats a aquest punt no podem passar l'ocasió per a esmentar una de les grans aportacions metodològiques del BNL/MURR, representada pel ja clàssic model dels factors que participen de la variació d'una anàlisi composicional, expressat originàriament per Bieber i col·laboradors (1976) de la següent manera:

$$S_T^2 = S_N^2 + S_S^2 + S_A^2$$

On  $S_T^2$  és la variància total en la determinació de la concentració d'un element en una mostra,  $S_N^2$  és la variància natural que representa la variabilitat natural en la concentració d'un element en la mostra analitzada,  $S_S^2$  és la variància del mostreig, que es pot introduir a causa d'errors en l'estimació de la quantitat de mostra que es considera representativa de la composició química de la peça analitzada<sup>29</sup>, i  $S_A^2$  és la variància analítica que representa la variabilitat que es pot introduir en el procés d'anàlisi.

L'aproximació del BNL/MURR assumeix que els grups que identifiquen amb tècniques estadístiques multivariants representen mostres d'una distribució normal multivariant. A partir d'aquí es calcula la probabilitat, mitjançant la distància de Mahalanobis, que un individu pugui pertànyer a un d'aquests grups. En cas de no poder-se realitzar directament la filiació a un grup, el recurs que es fa servir és el de reducció de variables a partir de l'anàlisi de components principals o d'un subgrup de variables que semblin discriminar els grups. Així, els individus són afegits i extrets d'un grup fins

---

<sup>29</sup> En relació a aquesta qüestió, en la nostra metodologia hem seguit les consideracions de Bromund i col·laboradors (1976).

que s'aconsegueix una agrupació consistent dintre de la normalitat multivariant. L'aplicació d'aquest procediment iteratiu en la formació dels grups, no obstant, tendeix a forçar l'existència de grups esfèrics (Baxter 1994).

Una metodologia diferent és la emprada generalment pels investigadors vinculats a la Universitat de Bonn. Com en el cas anterior, les dades químiques són obtingudes per ANN i la major part són elements traça expressats com a ppm (Mommsen i Sjöberg 2007). L'èmfasi d'aquests investigadors està en solucionar el que anomenen problema de la dilució. Com ja hem vist, a causa de les peculiars característiques de l'espai mostral de les dades composicionals, el fet que la concentració d'un component químic augmenti (o disminueixi) no sols afecta al component en qüestió, sinó també a les concentracions de tota la resta. Així, si a una pasta argilosa se li afegeix desgreixador de quars ( $\text{SiO}_2$ ), la resta de concentracions elementals es veuran afectades. Concretament, tots els valors excepte el Si i l'O disminuiran en funció d'un factor constant. Per tant, el fet que, per exemple, s'afegeixin diferents quantitats de desgreixador pot donar com a resultat que dues ceràmiques fetes amb la mateixa argila mostrin patrons químics diferents, a causa d'aquesta dilució. Amb un intent de solucionar aquest problema, aquests autors fan servir el procediment del millor ajust relatiu (Beier i Mommsen 1994) —desenvolupat originàriament per Sayre i col·laboradors (1958) (veure també el treball de Harbottle (1976))— amb el qual s'aplica un factor que pretén corregir el problema de la dilució. Un cop aplicat el factor de dilució, aquesta aproximació parteix d'un grup químic format per un o varis individus ceràmics. Seguint un procés iteratiu, es van afegint nous individus al grup en funció de la probabilitat que tenen de pertànyer-hi mitjançant filtres de Mahalanobis, mentre que els individus que no poden ésser adscrits a cap grup es consideren equivalents al que serien observacions atípiques d'una distribució. En qualsevol cas, és important remarcar el fet que tant en aquest cas com en el del BNL/MURR, el tractament de les dades i la metodologia estadística semblen estar dissenyades per a crear grups químics ben definits i reduir al màxim la variabilitat de les dades químiques. O expressat amb altres paraules, l'esforç metodològic se centra en crear grups químics que siguin fàcilment discriminables, per bé que, evidentment, la realitat no ha de respondre necessàriament a aquestes característiques. En qualsevol cas una de les

principals aportacions de la metodologia desenvolupada pel grup de Bonn és la consideració dels errors analítics en el càlcul de les distàncies (Beiber i Mommsen 1994).

Malgrat la manca de metodologies alternatives robustes, la proposta d'Aitchison (1986) ha estat objecte de diverses crítiques, la majoria construïdes amb discursos argumentals clarament vulnerables. Un dels casos més citats és la crítica de Tangri i Wright (1993). Aquests autors comparen la metodologia proposada per Aitchison i l'aplicació estàndard de l'anàlisi de components principals sobre dades no transformades, però negligeixen en tot moment els fonaments teòrics de les diferents aproximacions i basen les seves conclusions en unes assumpcions que postulen allò mateix que pretenen demostrar. Aquest treball és comentat en el mateix volum per Baxter (1993), per bé que el seu argument també negligeix la natura teòrica de les dades composicionals i la lògica de l'aproximació d'Aitchison. Hauran de passar nou anys per a que aquestes crítiques siguin respostes amb una bona argumentació pel mateix Aitchison i col·laboradors (2002).

En dates més recents, Baxter i Freestone (Baxter i Freestone 2006) s'han erigit com els més fermes detractors de l'aplicació de la metodologia d'Aitchison en l'estudi de dades coposicionals en Arqueometria. En opinió d'aquests autors, la transformació en logaritmes de raó dificulta la identificació de les estructures presents en un conjunt de dades, a diferència del que ocorre amb les dades normalitzades, les quals permeten plantejar amb més facilitat interpretacions arqueològicament rellevants. Tanmateix, els arguments emprats per aquests autors són sorprenents per diversos motius. D'una banda, comparen diferents metodologies però deixant de banda explícitament qualsevol consideració teòrica (Baxter i Freestone 2006: 511). En la mateixa línia, assumeixen que les dades obtingudes en l'anàlisi química han d'ésser necessàriament interpretables arqueològicament, per bé que també negligeixen qualsevol consideració teòrica al respecte. D'altra banda, sorprèn que la crítica s'adrexi precisament a l'ús dels valors relatius d'una dada composicional i que, contràriament, s'abogui per centrar l'atenció en el que erròniament consideren els valors absoluts d'una composició. Sembla irònic pensar que, precisament, el que assegura la coherència subcomposicional i, per tant, preserva l'estructura existent en les dades, és el responsable de l'enmascarament dels



factors que poden ésser arqueològicament rellevants (Baxter i Freestone 2006: 523-525).

# CAPÍTOL 7

---

## CARACTERITZACIÓ DELS CENTRES PRODUCTORS. PART I

### 7.1 Preliminar

**E**n aquest treball s'han caracteritzat un total 348 individus amforals procedents de sis centres productors (Can Notxa, El Mujal, C/ de Guillem de Palafolls, Fenals, Collet de Sant Antoni de Calonge i Llafranc) i tres centres receptors (les ciutats romanes d'*Iluro*, *Emporiae* i *Palma*). Els trets característics d'aquests jaciments i els contextos arqueològics dels quals han estat recuperats els individus analitzats han estat descrits al llarg del Capítol 5.

En aquest Capítol es realitza una primera aproximació arqueomètrica a les característiques estructurals i composicionals dels 222 individus ceràmics documentats en els sis centres productors (Taula 7.1). Com ja hem exposat, aquests sis centres productors es localitzen en un context geològic molt similar<sup>30</sup> i, per tant, es planteja *a priori* una possible dificultat en la discriminació analítica del les diferents produccions. Així, un dels primers propòsits a resoldre és el d'intentar establir diferències entre diferents tallers i, igualment, entre diferents produccions d'un mateix centre productor.

---

<sup>30</sup> Veure apartat 4.2.1.

Entenent que els canvis en el disseny formal de les àmfores tenen lloc en diversos centres, és igualment rellevant poder identificar si aquestes variacions es produeixen en paral·lel a canvis en les característiques tècniques del material ceràmic. En aquest sentit, és especialment important poder avaluar si, en cas de produir-se, els canvis segueixen el mateix patró en tots els centres o si, per contra, existeix un procés tecnològic diferenciat. D'aquesta manera es podrà perfilar posteriorment una primera imatge del paper jugat pels diferents centres productors en els processos de distribució i consum dels diferents dissenys amforals.

	<b>Dr1</b>	<b>L1/T1</b>	<b>P1</b>	<b>Dr2-4</b>	<b>Dr7-11</b>	<b>Ob74</b>	<b>Total</b>
<b>NTX</b>	-	5	2	-	-	-	7
<b>MUJ</b>	-	28	32	-	-	-	60
<b>PLF</b>	-	-	17	15	-	-	32
<b>FEN</b>	-	-	35	16	-	-	51
<b>CAL</b>	-	2	33	-	1	2	38
<b>LLA</b>	-	-	30	-	4	-	34
<b>Total</b>	-	35	149	31	5	2	<b>222</b>

**Taula 7.1.** Quadre resum dels 222 individus amforals caracteritzats en funció del tipus i el jaciment de procedència. **Dr1:** Dressel 1; **L1/T1:** Laietana 1/Tarraconense 1; **P1:** Pascual 1; **Dr2-4:** Dressel 2-4; **Dr7-11:** Dressel 7-11; **Ob74:** Oberaden 74; **NTX:** Can Notxa; **MUJ:** El Mujal; **PLF:** C/ de Guillem de Palafolls; **FEN:** Fenals; **CAL:** Collet de Sant Antoni de Calonge; **LLA:** Llafranc.

Ara bé, l'establiment de la provinença d'una àmfora, com ja hem discutit en el capítol anterior, no representa l'objectiu final del nostre marc de recerca. Certament, si un dels objectius és generar models de producció, distribució i consum, els estudis de provinença representen un esgaló necessari, per bé que, per sí mateixos, no permeten proposar explicacions sobre el perquè d'una determinada distribució dels productes i no una altra. Tradicionalment, bona part dels estudis de provinença de ceràmiques a partir de l'anàlisi química s'han complementat amb algunes caracteritzacions tecnològiques, fonamentalment per un motiu de caire metodològic: identificar l'anomenat *factor humà* que hauria pertorbat mitjançant un procés tecnològic —en major o menor mesura— les característiques geoquímiques de la matèria primera emprada en la confecció de

l'artefacte (veure Neustupný 1971). Tanmateix, en el nostre model per a l'estudi de les àmfores, la necessitat de la caracterització tecnològica, per bé que evidentment també és de caire metodològic, es fonamenta en la pròpia configuració i expectativa normal de l'artefacte; un artefacte que ha de servir per a acomplir amb un propòsit funcional de tipus tècnic i que, alhora, proporciona una imatge sobre la distribució de poder en un context de dominació colonial. Així, entenem que qualsevol intent per entendre la distribució d'aquests artefactes s'ha de fonamentar en l'estudi de les propietats tècniques del material i del disseny formal, com a part necessària en l'avaluació de les competències de les àmfores en el context d'activitats específiques.

## **7.2 Caracterització química per FRX**

### **7.2.1 Consideracions analítiques**

Mitjançant l'anàlisi química per FRX s'ha determinat per a cada un dels 222 individus recuperats en els sis centres productors la següent subcomposició: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (com a Fe total), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, Ba, Rb, Mo, Th, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Sn, Ce, Co, Ga, V, Zn, W, Cu, Ni i Cr. Així mateix, també ha estat calculada la PAF de tots els individus seguint la rutina analítica exposada en el Capítol 6. Totes aquestes dades apareixen recollides en la Taula 11 (Annex 1).

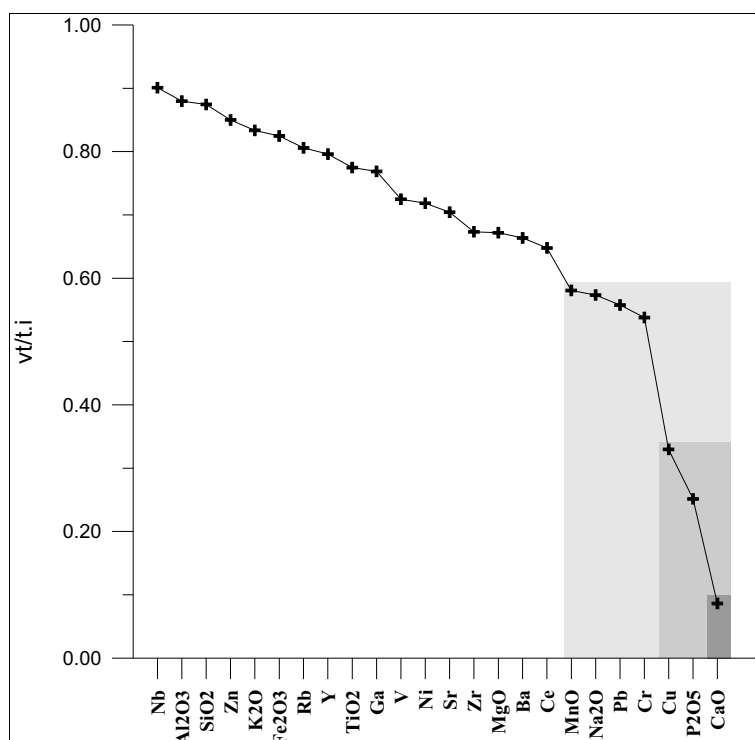
En el càlcul de la matriu de variació composicional (MVC) i en el posterior tractament estadístic, diversos elements no han estat presos en consideració per diferents motius. El Mo i Sn no han estat considerats per indeterminacions i imprecisions analítiques. El Co i W per possibles contaminacions de la mostra durant el procés de polvorització, atès que han estat preparades fent servir una cel·la de carbur de tungstè. Tampoc ha estat considerat el component Th per les possibles interferències causades per les altes concentracions d'Sr que no poden ésser degudament corregides. Igualment, tampoc han estat considerats els valors de la PAF que representen fonamentalment els elements que es volatilitzen parcialment i que no es determinen per FRX —com l'H, O i C—, que formarien els grups hidròxils (OH)<sup>-</sup> i carbonats, els quals es perden a mesura que augmenta la temperatura de cocció. Així, individus ceràmics fabricats a partir d'una mateixa pasta, però cuits a diferents temperatures, presentaran diferències en el valor de

la PAF que, a causa de la restricció de suma la unitat, implicaran un augment en la mateixa proporció de tots els altres components, produint diferències en la composició química dels individus que no han de correspondre necessàriament a diferents proveniències.

Aquestes consideracions, a no ser que s'especifiqui el contrari, seran aplicades a totes les anàlisis estadístiques efectuades al llarg d'aquest treball.

### 7.2.2 Resultats i discussió

El tractament estadístic de les dades composicionals dels 222 individus procedents dels sis centres productors considerats segueix la metodologia formulada per Aitchison (1986), Buxeda (1999) i Buxeda i Kilikoglou (2003), referent a les dades composicionals. Així, la variació total ( $vt$ ) obtinguda en el càlcul de la matriu de variació composicional (MVC) és el valor emprat per estimar la variabilitat química existent en el conjunt de les dades. En la Taula 12 (Annex 1) es presenta la MVC calculada sobre la subcomposició  $Fe_2O_3$  (com a Fe total),  $Al_2O_3$ , MnO,  $P_2O_5$ ,  $TiO_2$ , MgO, CaO,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $SiO_2$ , Ba, Rb, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Cu, Ni i Cr. En el present cas, i com era d'esperar, el valor obtingut ( $vt=2.10887$ ) pot ésser considerat alt, d'acord amb altres casos d'estudi similars (Buxeda i Kilikoglou 2003; Vila *et al.* 2006). Aquesta alta variabilitat s'ha de considerar com un reflex de l'heterogeneïtat del conjunt analitzat, format per diverses produccions de diferents cronologies i procedències.



**Figura 39.** Gràfic bivariant dels elements químics retinguts per a l'anàlisi ordenats per rang descendent (en absisses) en funció dels valors  $vt/\tau_i$  (en ordenades).

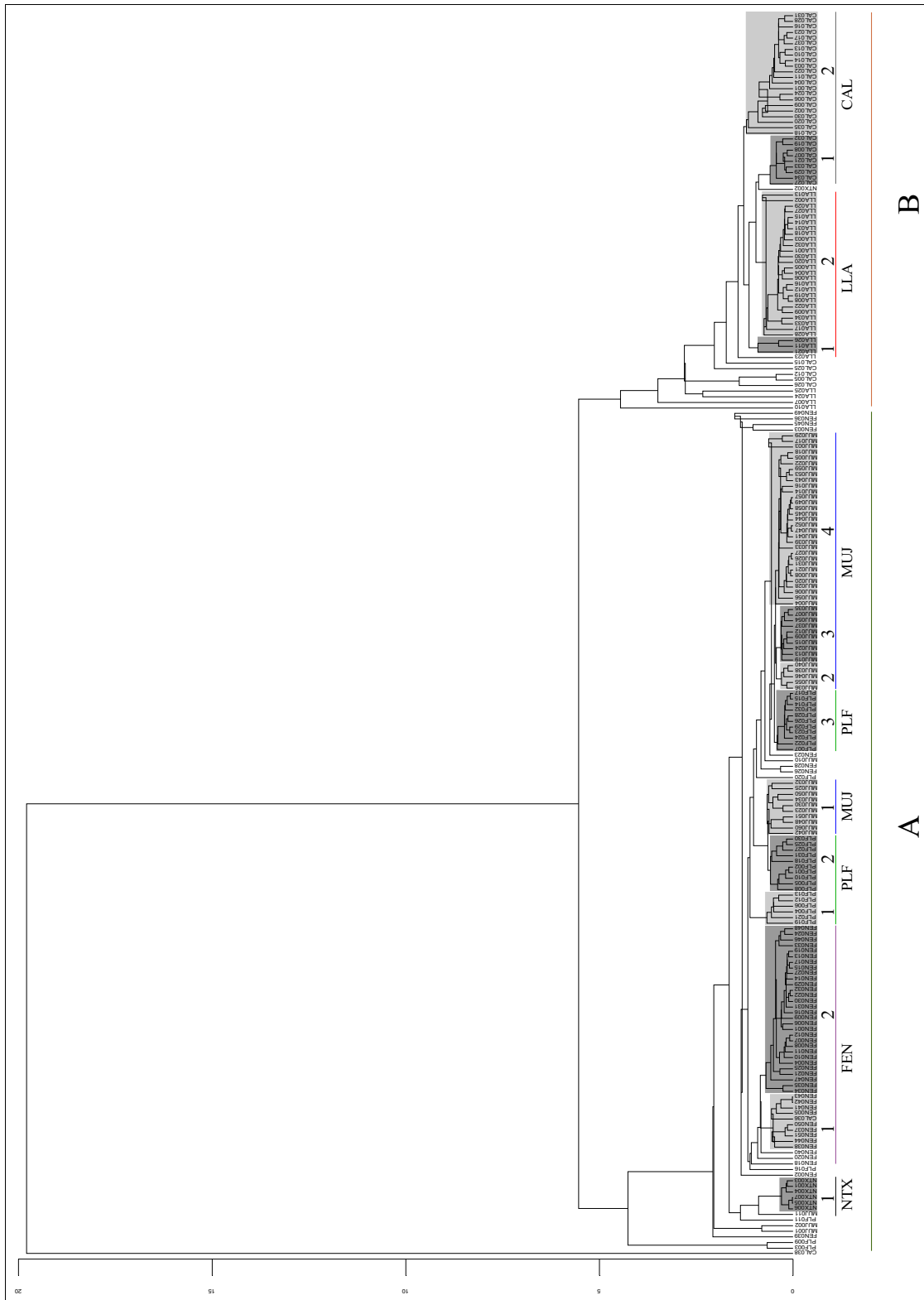
La Figura 39 mostra el gràfic bivariant amb els elements químics que s'han fet servir en el tractament estadístic, ordenats en rang descendent en funció dels seus valors  $vt/\tau_i$  corresponents. Recordem que aquest valor permet estimar la variabilitat introduïda per cada element a la variació total. Com pot ésser observat, els components que més contribueixen a aquesta variabilitat química són el Cu ( $\tau_{Cu}=6.39855$ ;  $vt/\tau_{Cu}=0.32959$ ), el  $P_2O_5$  ( $\tau_{P_2O_5}=8.38755$ ;  $vt/\tau_{P_2O_5}=0.25143$ ) i, molt especialment, el CaO ( $\tau_{CaO}=24.43147$ ;  $vt/\tau_{CaO}=0.08632$ ). Aquests valors indiquen clarament que la variació total suposa menys del 35% ( $vt/\tau_i < 0.35$ ) del valor de la traça de la matriu de variàncies-covariàncies que resulta d'emprar successivament els esmentats components com a divisors en la transformació en logaritmes de raons. Així mateix, també cal destacar la variabilitat imposada pels components Cr, Pb,  $Na_2O$  i Mn, per als quals la variació que imposen és superior al 40% ( $vt/\tau_i < 0.6$ ). D'altra banda, els components que menys variabilitat imposen en ésser emprats com a divisors en la transformació en logaritmes

de raó són el Nb,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{SiO}_2$  ( $v/\tau_i > 0.85$ ). Per tant, s'assumeix que la distribució d'aquests components representa una variació natural i, el que és més important, que són els elements que amb més probabilitat s'haurien vist menys afectats per qualsevol possible procés d'alteració i/o contaminació, el que fa que siguin els millors candidats per a ésser emprats com a denominadors en la transformació de les dades en logaritmes de raons (Buxeda 1999). En aquest cas, les dades composicionals han estat transformades fent servir el component  $\text{Al}_2\text{O}_3$  com a divisor segons:

$$\mathbf{x} \in S^d \rightarrow \mathbf{y} = \log\left(\frac{\mathbf{x}_{-D}}{x_D}\right) \in R^d$$

On  $S^d$  és el simplex d-dimensional ( $d=D-1$ ) i  $\mathbf{x}_{-D}=(x_1, \dots, x_d)$ .

Com a primera anàlisi exploratòria, s'ha realitzat una anàlisi de conglomerats sobre les dades composicionals dels 222 individus recuperats en els sis centres productors. En aquesta anàlisi s'ha emprant la distància euclidiana al quadrat, per tal de maximitzar l'efecte dels components que, després de la transformació, més contribueixen a la variabilitat total, i l'algoritme aglomeratiu del centroide (Sneath i Sokal 1973), sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Cu, Ni i Cr, utilitzant l' $\text{Al}_2\text{O}_3$  com a divisor. La Figura 40 mostra el dendrograma resultant d'aquesta anàlisi realitzada amb el programa S-Plus 2000 (MathSoft 1999). En aquesta gràfica, a partir dels 222 individus que es troben etiquetats a la part inferior del dendrograma es realitzen una sèrie de fusions en les que s'agrupen bé dos individus, bé un individu amb un grup, o bé dos grups, fins a obtenir un únic grup format per tots els individus considerats. Així, quant més allunyada de la base del dendrograma es realitza aquesta fusió, major és la diferència en la composició química considerada dels individus o grups que es fusionen (Shennan 1997).



**Figura 40.** Dendrograma resultant de l’anàlisi de conglomerat dels 222 Ic procedents dels centres productors de Can Notxa (NTX), El Mujal (MUJ), C/ de Guillem de Palafolls (PLF), Fenals (FEN), Collet de Sant Antoni de Calonge (CAL) i Llafranc (LLA), emprant la distància euclidiana al quadrat i l’algorisme aglomeratiu del centroide sobre la subcomposició  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $MnO$ ,  $P_2O_5$ ,  $TiO_2$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $SiO_2$ , Ba, Rb, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Cu, Ni i Cr, emprant l’ $Al_2O_3$  com a divisor.



En aquest cas, el dendrograma resultant mostra clarament una estructura formada per diversos conglomerats. En primer lloc, cal destacar la presència a l'esquerra del dendrograma d'un sol individu (CAL038), que representa un dels dos individus del tipus Oberaden 74 analitzats en aquest treball, procedents del centre productor del Collet de Sant Antoni de Calonge. La seva situació marginal és deguda exclusivament a l'elevada concentració relativa que presenta en Cu. De fet, i com queda reflectit en la Figura 39, una part important de la variabilitat química existent en el conjunt de les dades està imposada per aquest component. Tanmateix, cal puntualitzar que aquesta variabilitat s'explica fonamentalment per l'elevada concentració que presenten puntualment alguns individus (essent el cas més evident el de l'individu CAL038). Així, en aquest cas concret, sembla plausible atribuir l'elevada concentració de Cu a un possible procés de contaminació (Vila *et al.* 2006).

La resta dels individus apareixen en el dendrograma formant dos grans grups, etiquetats com A i B. D'una banda, l'agrupació A està formada per gairebé la totalitat dels individus procedents dels centres productors de Can Notxa, El Mujal, C/ de Guillem de Palafolls i Fenals. L'única excepció és la d'un individu del tipus Laietana 1/Tarraconense 1 procedent de Can Notxa (NTX002), el qual està situat en l'agrupació B, junt al grup CAL-1 del centre productor del Collet de Sant Antoni de Calonge; tanmateix les diferències químiques que mostra respecte d'aquesta agrupació no permeten, en aquest moment, adscriure'l de manera clara a aquesta producció. D'altra banda, l'agrupació B, situada a la dreta del dendrograma, està formada per tots els individus procedents dels centres productors del Collet de Sant Antoni de Calonge i de Llafranc, a excepció feta del ja esmentat individu CAL038, situat de manera marginal a l'esquerra del dendrograma, i de l'individu CAL036, que representa una àmfora del tipus Dressel 7-11, procedent també del centre productor del Collet de Sant Antoni de Calonge, i que en el dendrograma apareix situat clarament en l'agrupació FEN-1, formada per la majoria de produccions de Dressel 2-4 procedents del centre productor de Fenals.

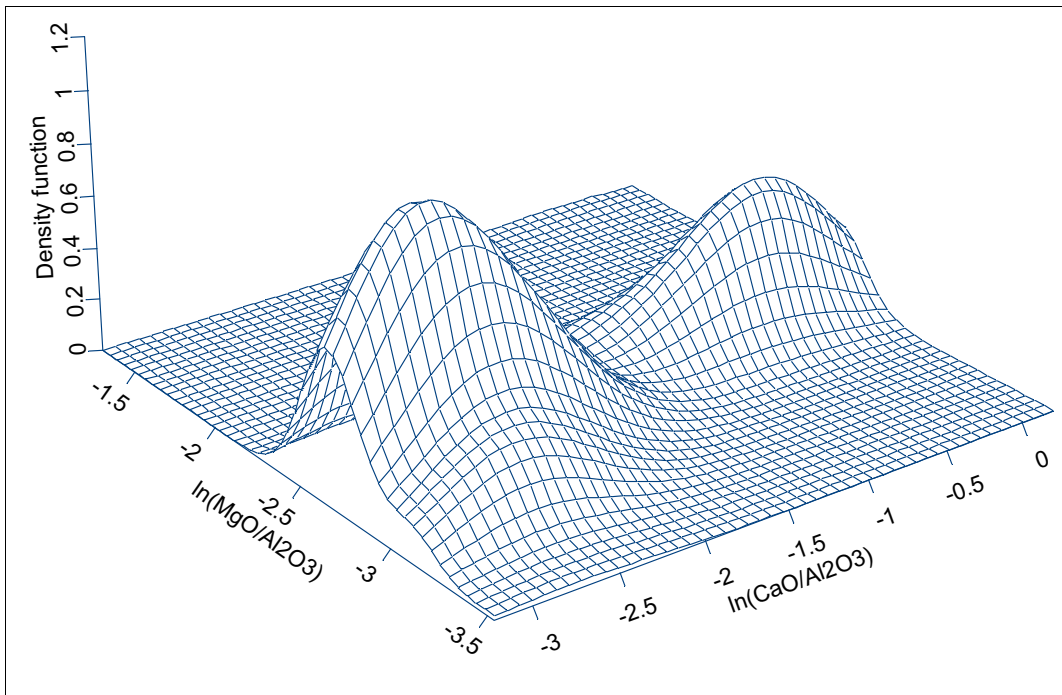
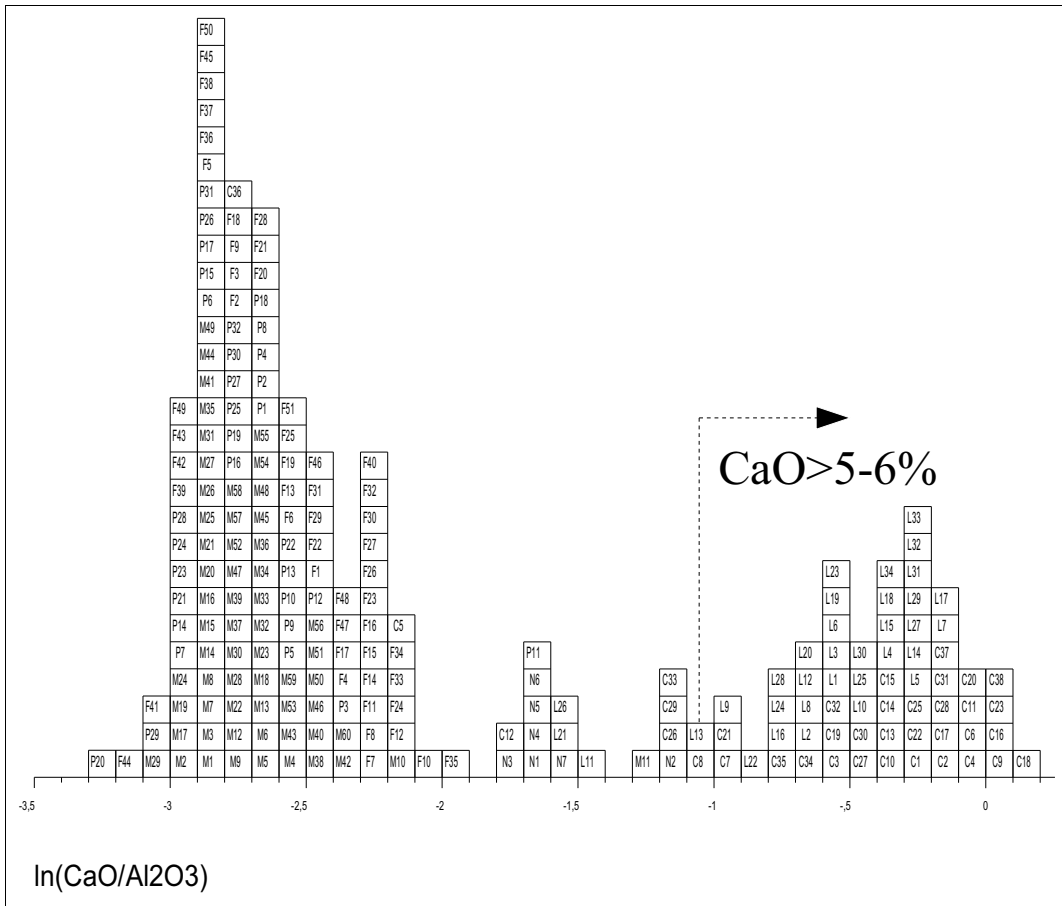
Les diferències més significatives entre aquestes dues grans agrupacions, A i B, són degudes fonamentalment a les diferents concentracions relatives en CaO i, en menor mesura, a les diferències en els continguts dels components Sr, Cr, Ni, Rb, Y i Na<sub>2</sub>O.

Els individus amforals que configuren el grup A es caracteritzen per haver estat produïts a partir de pastes poc calcàries ( $\text{CaO} < 5\text{-}6\%$ ). A més a més, és important precisar que, si se centra l'atenció en cada centre productor de manera individual, s'observa com els baixos continguts en CaO exhibeixen, en tots els casos, una dispersió relativament baixa. Contràriament, en el grup B s'hi observa una tendència completament diferent, amb una producció fonamentalment calcària ( $\text{CaO} > 5\text{-}6\%$ ), per bé que amb una gran dispersió en el contingut en CaO. Així, en aquest grup s'hi troben puntualment alguns individus que presenten continguts baixos en CaO —propis de ceràmiques poc calcàries—, o en el límit teòric entre les ceràmiques poc calcàries i calcàries, però amb la major part dels individus que s'identifiquen clarament com a ceràmiques calcàries i, en alguns casos també, com a altament calcàries ( $\text{CaO} > 15\text{-}20\%$ ).

Aquestes dues tendències queden ben il·lustrades en la Figura 41. En la part superior es presenta l'histograma dels valors de CaO transformats en logaritmes de raó emprant l' $\text{Al}_2\text{O}_3$  com a divisor, amb la identificació de cada un dels 222 individus considerats i del límit teòric corresponent entre ceràmiques poc calcàries i calcàries. Es pot observar com la majoria dels individus es distribueixen clarament per sota d'aquest límit. En aquesta distribució es dibuixa també una clara asimetria a la dreta que reflexa els individus que, tot i ésser considerats com a poc calcaris, mostren unes concentracions relatives en CaO més altes. És precisament en aquesta zona de l'histograma on se solapen alguns individus que formen part de l'agrupació A amb els individus de l'agrupació B. Contràriament, a la dreta de l'histograma, a partir dels valors que es corresponen amb els de ceràmiques calcàries, apareixen exclusivament els individus que conformen la pràctica totalitat de l'agrupació B.

En la part inferior de la Figura 41 es mostra una manera alternativa de representar gràficament la funció de densitat d'una distribució, a partir del mètode *kernel* (Bowman i Azzalini 1997). L'ús d'aquest mètode com a estimador de la densitat d'una distribució permet superar algunes de les limitacions inherents a l'ús d'histogrames. L'histograma com a estimador de densitat està fortament condicionat per l'interval de classe que es defineix, així com, en certa mesura, per la posició inicial d'aquests intervals. Mitjançant l'ús del mètode *kernel*, el valor específic de la dada que es pretèn representar queda reemplaçat pel punt central de l'interval de classe en el qual

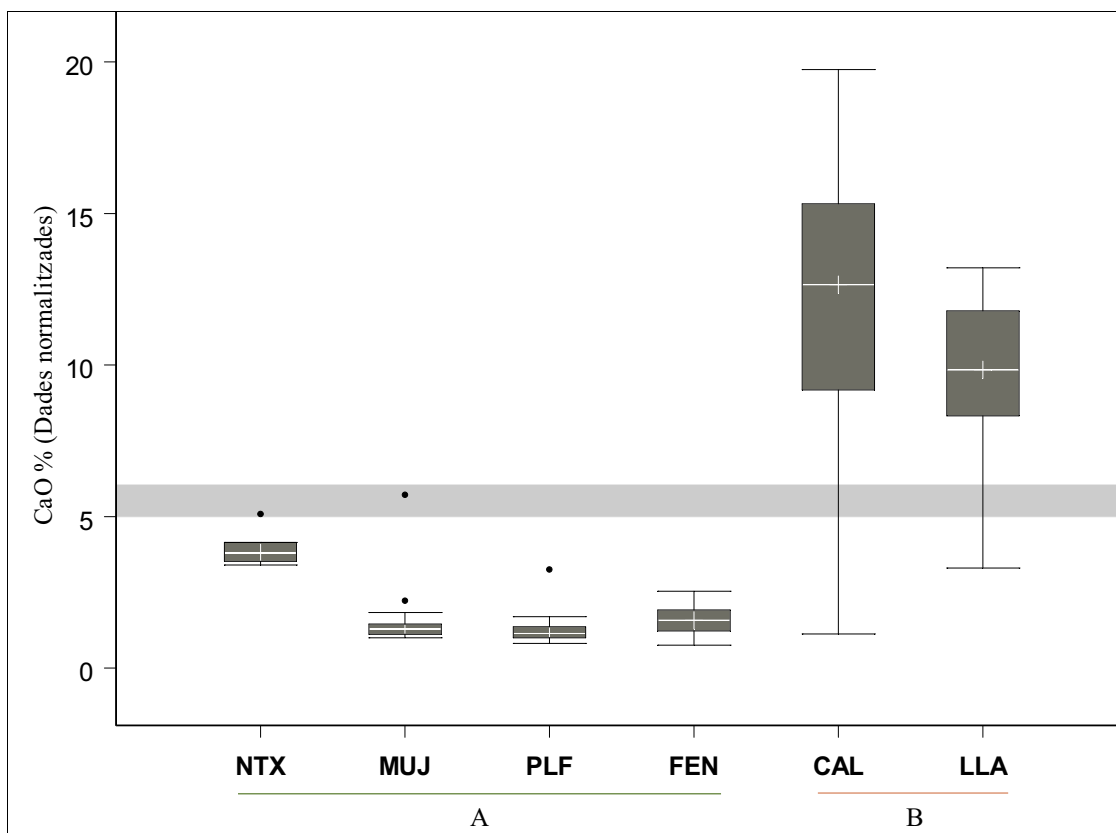
queda inscri. Per tant, en emprar el mètode *kernel*, la representació de l'estructura subjacent en les dades no parteix d'una caixa, com succeeix en el cas de l'histograma, sinó d'una funció de densitat (*kernel*), les quals estan centrades directament sobre cada observació. A més, aquesta aproximació permet estimar la funció de densitat d'una distribució a partir de dues o, fins i tot, tres variables.



**Figura 41.** Superior: Histograma del valors  $\ln(\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3)$  dels 222 individus procedents dels centres productors de Can Notxa (N), El Mujal (M), C/ de Guillem de Palafolls (P), Fenals (F), Collet de Sant Antoni de Calonge (C) i Llafranc (L). Inferior: Gràfic bivariant d'estimació de la funció de densitat a partir del mètode *kernel* dels valors  $\ln(\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3)$  i  $\ln(\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ .

En aquest cas, l'estimació ha estat realitzada a partir de la distribució de dues variables; els valors transformats de CaO i de MgO. L'estructura resultant il·lustra clarament les dues tendències sobre el contingut en CaO de les àmfors, amb una distribució de major densitat al voltant dels continguts baixos (situada a l'esquerra del gràfic i representada pels individus de l'agrupació A) i que mostra, a més, una certa assimetria vers la part dreta, la qual se solapa amb una segona distribució, de menor densitat i major dispersió, al voltant dels continguts alts (situada a la dreta del gràfic i representada pels individus de l'agrupació B). Així mateix, aquest gràfic mostra com el contingut en MgO, tot i presentar certa variabilitat en el conjunt de les dades, no estableix diferències significatives que permetin discriminar aquestes agrupacions.

Per tal d'efectuar una anàlisi exploratòria més concreta, ara centrarem l'atenció en la diferent distribució del contingut en CaO en els individus anforals en funció del centre productor de procedència. Les diferents distribucions apareixen il·lustrades en els gràfics de caixa i bigotis presentats en la Figura 42. Aquests gràfics permeten mostrar de manera clara el grau de simetria existent en la distribució de les dades, així com la presència de possibles valors atípics. Els gràfics de caixa i bigotis representen els valors distribuïts en quatre àrees d'igual freqüència: una caixa central que agrupa el 50% de les dades, dividida en dues àrees per una línia horitzontal que representa el valor de la mediana, i dues àrees representades per segments verticals (bigotis). La mitjana aritmètica de la distribució es representa amb una creu a l'interior de la caixa. Així, en cas d'una distribució simètrica, la mitjana aritmètica coincidirà amb la línia de la mediana, la qual se situarà en el centre de la caixa. Els costats horitzontals de la caixa estan situats en els quartils inferior i superior de la variable. A partir del centre de cada un d'aquests costats horitzontals es dibuixen els dos bigotis; l'inferior, que té un extrem en el primer quartil i l'altre en el valor donat pel primer quartil menys 1.5 vegades el rang interquartílic, i el superior, que té un extrem en el tercer quartil i l'altre en el valor donat pel tercer quartil més 1.5 vegades el rang interquartílic. Els valors extrems o atípics apareixen representats mitjançant un petit cercle de color negre, bé per sobre del bigoti superior, bé per sota del bigoti inferior.



**Figura 42.** Gràfics de caixa i bigotis del contingut en CaO % (dades normalitzades) dels individus procedents dels centres productors de Can Notxa (NTX), El Mujal (MUJ), C/ de Guillem de Palafolls (PLF), Fenals (FEN), Collet de Sant Antoni de Calonge (CAL) i Llafranc (LLA). La banda grisa representa el límit teòric entre ceràmiques poc calcàries (<5-6%) i calcàries (>5-6%).

En la Figura 42 es pot observar com els gràfics de caixa i bigotis dels continguts en CaO dels quatre centres productors que configuren la pràctica totalitat de l'agrupació A (Can Notxa, El Mujal, C/ de Guillem de Palafolls i Fenals) mostren unes distribucions que se situen, en tots els casos, clarament per sota de la banda horitzontal de color gris que marca el límit teòric del 5-6% entre les ceràmiques poc calcàries i les ceràmiques calcàries. Les úniques excepcions estan representades per dos valors atípics (concretament els individus NTX002 i MUJ011) que se situen a sobre de la banda grisa però que, en qualsevol cas, no superen aquest límit teòric. La baixa dispersió relativa en el contingut de CaO per a aquests centres es manifesta clarament en els gràfics de caixa i bigotis. En el cas del centre productor de Can Notxa, el 50% central dels individus

presenten uns continguts, en dades normalitzades, d'entre el 3.53 i 4.15%; en el cas d'El Mujal, el 50% central dels individus mostren uns continguts en CaO d'entre l'1.11 i 1.45%; el 50% central dels individus del centre productor del C/ de Guillem de Palafolls es distribueixen entre l'1 i 1.36%, mentre que en el cas de Fenals aquest rang se situa entre l'1.23 i 1.92%. Així mateix, és important remarcar la relativa simetria que exhibeixen els gràfics de caixa i bigotis d'aquests quatre centres productors.

D'altra banda, els individus procedents dels centres productors del Collet de Sant Antoni de Calonge i Llafranc, que configuren la pràctica totalitat del grup B, mostren unes distribucions de CaO completament diferents. En ambdós casos, la major part dels individus mostren uns continguts propis de ceràmiques calcàries o altament calcàries. Concretament, en el cas del centre del Collet de Sant Antoni de Calonge un 84.21% dels individus se situen per sobre del rang que marca el límit entre les ceràmiques poc calcàries i les calcàries, mentre que aquest percentatge puja fins a un 88.23% en el cas de Llafranc. Semblantment, cal destacar la gran dispersió relativa que presenten els gràfics d'aquests dos centres productors (el 50% central dels individus del Collet de Sant Antoni de Calonge exhibeixen uns continguts en CaO entre el rang 9.17-15.32%, mentre que en els individus de Llafranc aquest rang és de 8.32-11.79%), així com una lleugera assimetria vers la part baixa en ambdós casos.

Així doncs, els centres productors que configuren els dos grans grups (A i B) que s'observen en el dendrograma de la Figura 40 palesen el que semblen ser aparentment diferents eleccions tècniques pel que respecte al caràcter poc calcari o calcari de la pasta argilosa. Arribats a aquest punt, és important afegir alguna consideració respecte la ubicació dels centres productors en estudi. Tenint en compte que les diferències observades tenen importants implicacions tecnològiques que s'haurien de manifestar, no sols durant el processament de l'argila i la preparació de la pasta, sinó també durant el procés de cocció i, probablement, durant l'ús de les àmfores com a envasos de transport o emmagatzematge, sembla important considerar si aquestes diferències poden ésser el resultat d'una cerca premeditada dels ceramistes per tal d'aconseguir uns productes amb unes propietats determinades o si bé pot ésser el resultat casual del marc geoquímic en què s'ubicaren els tallers. En aquest sentit val a dir que, com ja s'ha exposat al llarg del Capítol 4, tots els tallers es localitzen en un

marc geològic molt similar. És més, l'estudi del context geològic de l'àrea més immediata dels centres productors, situada dins d'un radi d'un quilòmetre de distància, mostra que no hi ha cap indici clar que permeti pensar que les diferències en el contingut en CaO puguin ésser el resultat de la diferent ubicació dels tallers.

Així mateix, hi ha un altre aspecte que sembla interessant apuntar i que podria estar relacionat hipotèticament amb les diferències observades. Els centres productors que configuren les agrupacions A i B s'ubiquen en territoris que es corresponen amb el que havien estat diferents entitats polítiques ocupats per diferents grups ètnics ibèrics. Mentre que els centres productors de Can Notxa, El Mujal, C/ de Guillem de Palafolls i Fenals se situen en el que hauria estat, abans de la conquesta romana, el territori polític dels laietans, els centres productors del Collet de Sant Antoni de Calonge i de Llafranc es localitzen dins del que havia estat el territori polític dels indigetes (Sanmartí 2004: 24). Així, sorgeix com a primera hipòtesi que les diferències observades en relació a aquest aspecte de la tecnologia de producció ceràmica puguin ésser el resultat d'un intent premeditat per produir uns productes ceràmics amb propietats físiques i competències diferenciades, o bé el reflex de diferents tradicions o *habitus* (en el sentit de Bourdieu 1984) per part dels ceramistes i que aquestes diferències podrien tenir alguna connexió amb el diferent substrat ibèric preromà. En cas que això fos així, també s'haurien de manifestar, molt probablement, diferents models en la producció dels diferents tipus anforals, més enllà de les diferències ja esmentades respecte al caràcter calcari de les pastes. Per tal d'explorar aquesta possibilitat, continuarem amb la definició dels grups a partir de l'estudi de les dades químiques i de la seva representació gràfica en el dendrograma de la Figura 40.

El conjunt d'agrupacions que conformen el grup A mostren una estructura certament complexa. La primera impressió que es desprèn és la de diverses agrupacions caracteritzades individualment per una relativa baixa homogeneïtat química. Els grups químics identificats en aquesta primera exploració apareixen indicats amb un número, a sobre de la sigla del centre productor. El primer conglomerat que sembla definir-se de manera més o menys clara està format per sis dels set individus analitzats del centre productor de Can Notxa. Aquesta agrupació apareix a l'esquerra del dendrograma etiquetada com a NTX-1. L'únic individu d'aquest centre que no s'adscriu a aquest grup



químic és el ja esmentat individu Laietana 1/Tarraconense 1 (NTX002) que se situa a la dreta del dendrograma, junt a l'agrupació CAL-1. Situat més a la dreta de l'agrupació NTX-1, hi apareixen els individus procedents del centre productor de Fenals, configurant dues agrupacions. D'una banda, apareix el grup FEN-1, format majoritàriament per individus del tipus Dressel 2-4, i al qual se li afegeix també un individu Pascual 1 procedent d'aquest mateix centre (FEN005) i l'individu Dressel 7-11 procedent del Collet de Sant Antoni de Calonge (CAL036). El segon grup definit de Fenals, FEN-2, està format per la majoria d'individus d'aquest centre. Aquest grup està format majoritàriament per àmfores del tipus Pascual 1, al qual també s'hi inscriuen tres individus del tipus Dressel 2-4 (FEN046, FEN047, FEN048). A continuació apareixen les dues primeres agrupacions del centre productor del C/ de Guillem de Palafolls, PLF-1 i PLF-2, les quals estan formades exclusivament per individus del tipus Pascual 1. És important destacar el fet que el cas concret de l'agrupació PLF-2 mostra similituds composicionals relativament grans respecte la primera agrupació d'El Mujal, MUJ-1, cosa que pot ésser apreciada donada la distància ultramètrica relativament curta a la qual es produeix la seva fusió entre ambdós grups. Un altre aspecte a destacar és que, dintre de la relativa baixa homogeneïtat química que mostren totes les agrupacions considerades fins el moment, en el cas concret del centre del C/ de Guillem de Palafolls, es poden identificar certes diferències composicionals que es corresponen amb els diferents tipus anforals (en aquest cas, Pascual 1 i Dressel 2-4). Així, per exemple, es pot observar com en l'agrupació PLF-2 es produeix una certa separació entre els dos tipus anforals, quedant els quatre individus del tipus Dressel 2-4 situats a la dreta de l'agrupació (PLF031, PLF027, PLF025, PLF030). Malgrat aquestes diferències, ara per ara es consideraran com a individus d'una mateixa agrupació (PLF-2), i serà l'estudi més aprofundit d'aquest centre en el Capítol següent el que ens haurà de permetre acabar de dilucidar aquesta qüestió. No obstant això, les diferències composicionals entre els diversos tipus anforals sí que queden paleses de manera més clara pel grup PLF-3, on hi queden agrupats deu dels quinze individus del tipus Dressel 2-4, a més d'un individu Pascual 1. En aquest cas es pot observar també com, de manera similar al que succeïa especialment amb el grup PLF-2, existeixen certes similituds amb les agrupacions del centre d'El Mujal, concretament amb MUJ-2, MUJ-3 i MUJ-4. En

aquest sentit és important afegir que, tot i que es tracta de dos centres productors situats a pocs quilòmetres de distància, i que, per tant, des del punt de vista geoquímic comparteixen una àrea d'aprovisionament de matèria primera potencialment similar, és possible discriminar les seves produccions, per bé que hi ha individus d'aquests dos centres que exhibeixen una composició molt similar i alguns d'ells queden sense formar part de cap agrupació clara.

Respecte els individus procedents del centre productor d'El Mujal, s'observen un mínim de quatre agrupacions diferents. D'aquestes, el grup MUJ-1, format tant per individus Laietana 1/Tarraconense 1 com Pascual 1, és el que mostra una homogeneïtat química relativament menor. Com en el cas anterior, entre els individus d'aquest centre productor també s'hi poden identificar diferències composicionals que, de manera aproximada, poden ésser relacionades amb els diferents tipus anforals. Així, el grup MUJ-2 agrupa cinc individus Laietana 1/Tarraconense 1, mentre que el grup MUJ-3 n'agrupa tant Laietana 1/Tarraconense 1 com Pascual 1, tot i que també s'observen lleugeres diferències que són les responsables que els tipus Pascual 1 se situin junts, a l'esquerra d'aquest grup, i els tipus Laietana 1/Tarraconense 1 a la dreta. Aquesta mateixa tendència és la que es manifesta en el grup MUJ-4, format per la majoria d'individus analitzats d'aquest centre. Dins d'aquest grup és especialment evident com es fusionen a una distància ultramètrica relativament més curta, d'una banda, els individus Pascual 1 (MUJ006, MUJ028, MUJ020, MUJ008, MUJ021, MUJ031, MUJ026, MUJ027) i, d'altra, els Laietana 1/Tarraconense 1 (MUJ039, MUJ041, MUJ047, MUJ052, MUJ044, MUJ045, MUJ058, MUJ049, MUJ057). Com en els casos anteriors, serà l'estudi més aprofundit de cada centre productor per separat el que ens permetrà definir amb més claretat el total de grups químics que s'identifiquen.

Pel que respecte els centres productors que configuren la pràctica totalitat del grup B, el Collet de Sant Antoni de Calonge i Llafranc, s'identifiquen en cada centre dues agrupacions que, en ambdós casos, responen fonamentalment a diferències en el contingut en CaO. La primera agrupació identificada del centre productor de Llafranc, LLA-1, està formada per tres individus Pascual 1 que presenten concentracions pròpies de ceràmiques poc calcàries, mentre que l'altra agrupació, LLA-2, està formada per la majoria d'individus d'aquest centre que presenten uns continguts en CaO propis de

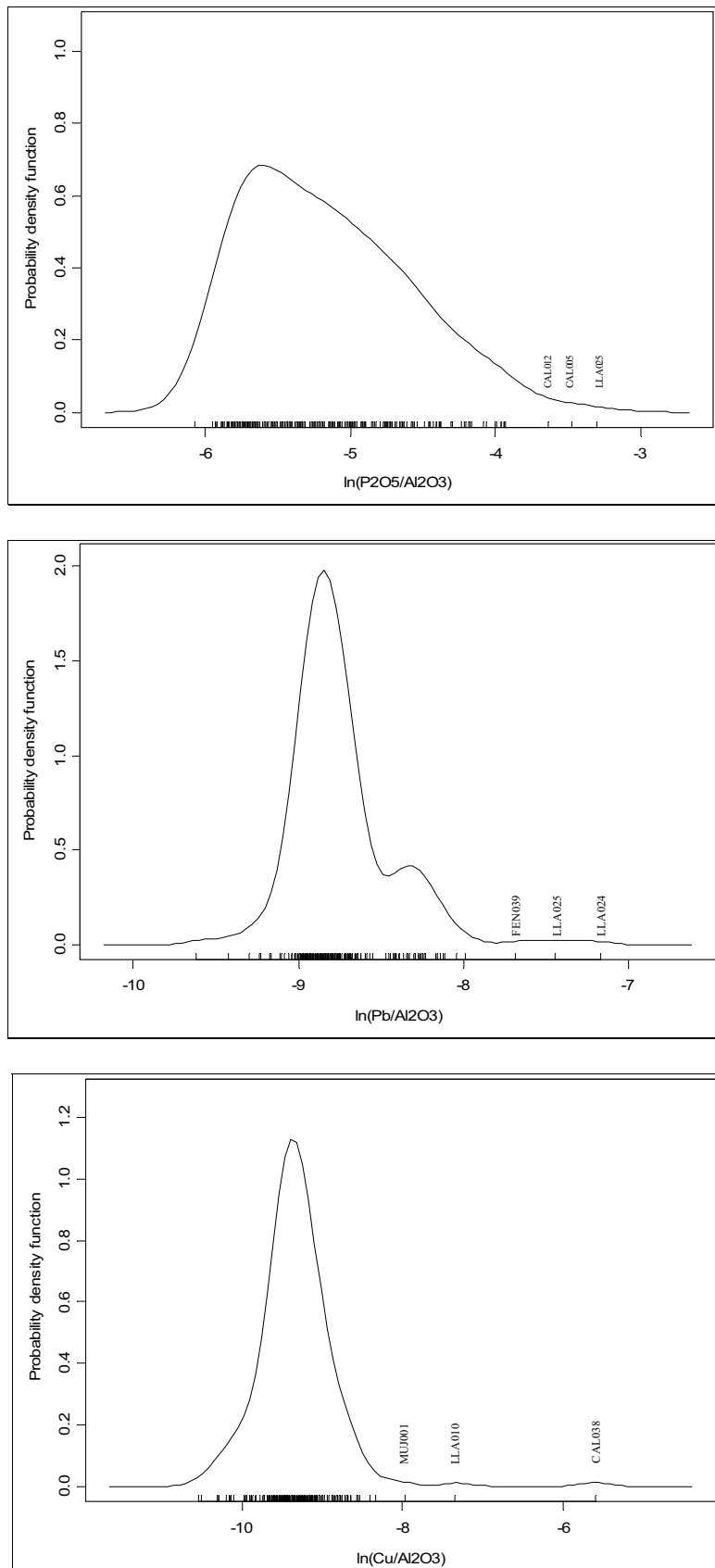
ceràmiques calcàries, a excepció feta d'un sol individu Dressel 7-11 (LLA013) que se situa en el límit entre les ceràmiques poc calcàries i calcàries. Dels altres tres individus d'aquest tipus, dos queden també inscrits clarament dins d'aquesta agrupació (LLA022, LLA032), mentre que un en queda fora (LLA010), unint-se a la resta d'aquest grup a una distància ultramètrica relativament alta. Finalment, els individus procedents del centre productor del Collet de Sant Antoni de Calonge formen també dues agrupacions. En aquest cas, si bé és cert que existeixen entre les dues agrupacions diferències en el caràcter calcari de les pastes (essent l'agrupació CAL-1 menys calcària que la CAL-2, per bé que formada per individus que, bé es troben en el límit entre les ceràmiques poc calcàries i les calcàries, bé hi estan clarament per sobre), també cal destacar que aquestes dues agrupacions mostren diferències significatives en les concentracions dels components  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Zr, Y, Ce, V, Zn, Ga i Cr que podrien indicar l'ús de diferents argiles base.

El resultat d'aquesta anàlisi de conglomerats mostra com, en termes generals, la producció amforal en estudi es caracteritza des d'un punt de vista químic per un grau d'homogeneïtzació relativament baix. Més concretament, la tendència general que s'observa en tots els centres productors considerats és la d'estar representats per uns grups químics amb uns individus que delimiten els seus extrems, però que entre aquests extrems s'exhibeix tot un seguit de composicions la variabilitat de les quals sembla afectar de manera aparentment arbitrària a diferents elements. Això explica que, d'una banda, si bé s'ha demostrat que és possible discriminar la producció entre diferents tallers, encara que, com en els casos del C/ de Guillem de Palafolls i d'El Mujal, es trobin ubicats a poca distància (a 7.5 km en línia recta) i en un context molt similar des del punt de vista geoquímic, hi ha casos en què les diferències composicionals entre produccions de diferents tallers poden ésser menors que les existents entre produccions d'un mateix taller. D'altra banda, aquestes característiques expliquen també el nombre relativament gran d'individus que romanen sense classificar, és a dir, sense que puguin ésser afiliats clarament a una agrupació. Igualment, cal tenir present que en aquesta anàlisi hi ha un individu (CAL038) que presenta respecte de la resta unes diferències composicionals molt marcades que afecten al component Cu, el que explica la seva situació marginal a l'esquerra del dendrograma i que la seva unió a la resta d'individus

es produeixi a una distància ultramètrica considerable alta. Aquest fet provoca que l'anàlisi de conglomerats esitigui fortament mediatitzada per l'alta variabilitat imposada per aquest component que, en aquest cas concret, és molt probable que sigui el resultat d'un procés de contaminació. Tanmateix, aquest comportament no és exclusiu del Cu. En estudis arqueomètrics realitzats sobre aquests tipus de produccions amforals s'interpreta freqüentment que una part de la variació en els components  $P_2O_5$  i Pb és atribuïble a diferents processos d'alteració i contaminació que haurien afectat de manera indiscriminada a diferents individus (Martínez 2008; Martínez *et al.* 2005; Martínez *et al.* 2006; Vila 2005; Vila *et al.* 2005, 2006; Vila *et al.* en premsa-a; Vila *et al.* en premsa-b). Per tal de valorar aquesta possibilitat s'ha realitzat l'estimació de la funció de densitat de probabilitat dels valors  $\ln(P_2O_5/Al_2O_3)$ ,  $\ln(Pb/Al_2O_3)$  i  $\ln(Cu/Al_2O_3)$  dels 222 individus en estudi mitjançant el mètode *kernel* (Figura 43). Les observacions apareixen representades amb línies verticals situades a l'interior de la gràfica i els individus que mostren concentracions amb valors extrems i que aporten major variabilitat al conjunt estan identificats amb la seva sigla. En el cas dels valors transformats del  $P_2O_5$  s'observa una gran dispersió que afecta al conjunt de les dades, amb una clara assimetria a la dreta, així com la presència de tres individus amb uns continguts especialment alts (CAL012, CAL005, LLA025), els quals no formen part de cap de les agrupacions definides a partir de l'anàlisi de conglomerats (Figura 40). Els valors transformats de Pb exhibeixen una distribució diferent, amb una moda principal i una segona moda subsidiària. En aquest sentit, és interessant remarcar que les observacions que conformen la distribució al voltant de la segona moda, situada més a la dreta, corresponen a tots els individus de Llafranc, a excepció feta de l'individu LLA007, el qual mostra importants diferències composicionals respecte la resta d'individus d'aquest centre atribuïbles, com discutirem més endavant, a un possible origen al·lòcton, així com els individus LLA024 i LLA025 que, junt a l'individu FEN039, mostren els valors més extrems en Pb. Com en el cas anterior, cap d'aquests tres individus formen part de cap agrupació definida a partir de l'anàlisi de conglomerats (Figura 40). Finalment, els valors transformats de Cu mostren clarament una distribució normal unimodal, per bé que també semblen haver-hi individus amb concentracions extremes que podrien ésser atribuïbles a diferents processos de

contaminació. Aquest seria el cas dels individus MUJ001, LLA010 i CAL038, els quals tampoc han estat inclosos en cap de les agrupacions definides (Figura 40).

Així, per tal d'evitar la mediatització de l'anàlisi per causa d'aquests possibles processos de contaminació, s'ha tornat a repetir un anàlisi de conglomerats sense considerar ara els components  $P_2O_5$ , Pb i Cu. El resultat d'aquesta anàlisi, emprant la distància euclidiana al quadrat i l'algoritme aglomeratiu del centroides sobre la subcomposició  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ , MnO,  $TiO_2$ , MgO, CaO,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $SiO_2$ , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, emprant l' $Al_2O_3$  com a divisor, queda resumit en el dendrograma de la Figura 44.



**Figura 43.** Estimació de la funció de densitat de probabilitat dels valors  $\ln(P_2O_5/Al_2O_3)$  (superior),  $\ln(Pb/Al_2O_3)$  (mig), i  $\ln(Cu/Al_2O_3)$  (inferior). Els valors extrems apareixen indicats amb la seva sigla.



**Figura 44.** Dendrograma resultant de l'anàlisi de conglomerat dels 222 Ic procedents dels centres productors de Can Notxa (NTX), El Mujal (MUJ), C/ de Guillem de Palafolls (PLF), Fenals (FEN), Collet de Sant Antoni de Calonge (CAL) i Llafranc (LLA), emprant la distància euclidiana al quadrat i l'algoritme aglomeratiu del centroid sobre la subcomposició  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $MnO$ ,  $TiO_2$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $SiO_2$ , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, emprant l' $Al_2O_3$  com a divisor.

Com era d'esperar, el càlcul d'una nova MVC, ara sense considerar els components  $P_2O_5$ , Pb i Cu, dóna com a resultat una variació total considerablement menor ( $v_t=1.57915$ ) (Taula 13, Annex 1). La disminució d'aquesta variabilitat química queda palesa en la distància ultramètrica a la qual es realitza la darrera fusió en l'anàlisi de conglomerats (Figura 44), la qual s'ha reduït aproximadament quatre vegades respecte l'anterior (Figura 40). Com també era d'esperar, un cop s'han extret tres dels components que més contribueixen a la variabilitat química existent en el conjunt de les dades, la configuració d'algunes de les agrupacions definides prèviament ha quedat modificada. En qualsevol cas, es pot observar com es manté l'estructura dividida en les dues grans agrupacions, A i B, a causa fonamentalment de les ja esmentades diferències en el contingut de CaO. La configuració d'aquests dos grans grups no mostra grans canvis respecte l'anterior anàlisi de conglomerats. De manera similar, el grup A queda format per la totalitat dels individus procedents dels centres productors de Can Notxa, C/ de Guillem de Palafolls, El Mujal i Fenals, caracteritzats per produccions amforals a partir de pastes poc calcàries. Així doncs, l'individu NTX002, que en l'anterior anàlisi quedava situat dins del grup B, proper a una producció de Calonge, ara resta a l'interior del grup A, formant part, al costat de la resta d'individus de Can Notxa, de l'agrupació NTX-1\*. D'altra banda, l'agrupació B es manté formada per la majoria dels individus procedents dels centres del Collet de Sant Antoni de Calonge i de Llafranc. En aquesta ocasió les úniques excepcions són l'agrupació d'àmfores poc calcàries de Llafranc (LLA-1), que ara romanen sense agrupar a l'esquerra del dendrograma, dins el grup A, i els individus poc calcaris de Calonge (CAL005, CAL12) que segueixen sense formar part de manera clara de cap agrupació major, i que ara se situen també a l'esquerra del dendrograma. El fet que aquests dos darrers individus quedin ara situats en l'agrupació A s'explica, junt al seu caràcter poc calcari, pels alts continguts en  $P_2O_5$  que caracteritza una part important dels individus procedents d'aquest centre. Les altres excepcions són les de l'individu CAL026, amb uns continguts en CaO en el límit entre les ceràmiques poc calcàries i calcàries, situat en el dendrograma dins de l'agrupació NTX-1\*, i l'individu Dressel 7-11 de Calonge (CAL036) el qual, com ja succeïa en l'anterior anàlisi de conglomerats, mostra similituds composicionals amb una part de la producció de Dressel 2-4 de Fenals, més enllà del seu caràcter poc calcari. Finalment, cal també



fer esment de l'individu Oberaden 74 procedent de Calonge (CAL038) el qual estava situat de manera marginal a l'esquerra del dendrograma de la Figura 40 a causa d'un contingut anormalment alt en Cu. Un cop s'ha extret aquest component de l'anàlisi estadística, aquest individu queda agrupat clarament dins l'agrupació CAL-2\*, junt a la major part de les àmfores recuperades en aquest centre, fet que dóna suport a la hipòtesi plantejada de la possible contaminació puntual de Cu en aquest individu.

Continuant amb l'estudi del dendrograma de la Figura 44, d'esquerra a dreta, queda clar que es manté una estructura complexa per als individus que conformen el grup A. En aquesta ocasió, les agrupacions definides mantenen la sigla del jaciment, tot i que ara el número va seguit per un asterisc (\*) per tal d'evitar possibles confusions amb les agrupacions definides en l'anterior anàlisi de conglomerats. Com en l'anterior dendrograma, la primera agrupació que pot ésser identificada de manera clara està formada pels individus procedents de Can Notxa (NTX-1\*). En aquesta ocasió, els set individus analitzats d'aquest centre queden sota la mateixa agrupació als quals se li afegeix un individu Pascual 1 de Calonge (CAL026). Més a la dreta apareixen les dues primeres agrupacions definides per al centre del C/ de Guillem de Palafolls. L'agrupació PLF-1\* està formada pels mateixos individus que l'anterior agrupació definida com a PLF-1, excepte per l'individu PLF004 que ara passa a formar part de l'agrupació PLF-2\*. Pel que fa aquesta darrera agrupació, és interessant constatar que està formada pels mateixos individus que PLF-2, a més del ja esmentat PLF004, i dels individus PLF009 i PLF003 els quals en l'anterior anàlisi de conglomerats quedaven sense agrupar a causa de presentar continguts anormalment alts en  $P_2O_5$ . La tercera agrupació (PLF-3\*), situada més a la dreta del dendrograma, apareix formada per la majoria dels individus Dressel 2-4 d'aquest centre. En aquest cas es confirmen unes semblances composicionals que resulten ésser especialment importants respecte quatre individus d'El Mujal que en l'anterior anàlisi formaven part de l'agrupació MUJ-3 i que ara queden inserits dins d'aquest grup PLF-3\*.

A la dreta de les dues primeres agrupacions del C/ de Guillem de Palafolls apareixen les definides per al centre productor d'El Mujal. En aquesta ocasió, el resultat de l'anàlisi de conglomerats permet definir fins a sis agrupacions diferents, tot i que les diferències composicionals entre elles no poden ésser considerades gaire significatives,

com queda reflectit en la distància ultramètrica relativament curta a la qual es produeixen les fusions. En qualsevol cas, és important posar èmfasi en la tendència que ja s'observava en l'anterior anàlisi de conglomerats i que estableix unes diferències composicionals que, de manera aproximada, semblen relacionar-se amb el canvi en el disseny formal de les àmfores. Així, es poden definir conglomerats que, d'una banda, agrupen exclusivament individus Pascual 1 (MUJ-1\*, MUJ-3\*) i, d'altra, que agrupen exclusivament individus Laietana 1/Tarraconense 1 (MUJ-4\*, MUJ-5\*, MUJ-6\*). També, en el cas de l'agrupació MUJ-2\*, formada per ambdós tipus amforals, es poden observar diferències que, tot i ser menors, expliquen que els individus Pascual 1 restin agrupats a l'esquerra d'aquest conglomerat i els individus Laietana 1/Tarraconense 1 a la dreta.

Pel que respecta les àmfores procedents de Fenals, els resultats permeten identificar tres agrupacions que mantenen, més o menys, la mateixa estructura resultant de l'anterior anàlisi de conglomerats. Així, es defineix una agrupació (FEN-1\*) formada per la major part de Pascual 1 d'aquest centre i per tres Dressel 2-4 (FEN046, FEN047, FEN048). Aquesta agrupació es correspon a la etiquetada prèviament com FEN-2. Així mateix, queden definits els grups FEN-2\* format per cinc individus Dressel 2-4 i als quals se'ls hi afegeix una Pascual 1 d'El Mujal (MUJ001), i el grup FEN-3\*, també format per cinc individus Dressel 2-4 i dues Pascual 1 del mateix centre de Fenals (FEN005, FEN009). Finalment, cal ressenyar l'existència de similituds composicionals entre l'individu Dressel 7-11 recuperat a Calonge (CAL036) i el grup FEN-3\* de Fenals, que podrien indicar una provinença comptable bé amb aquest centre, bé amb un altre ubicat en una àrea propera.

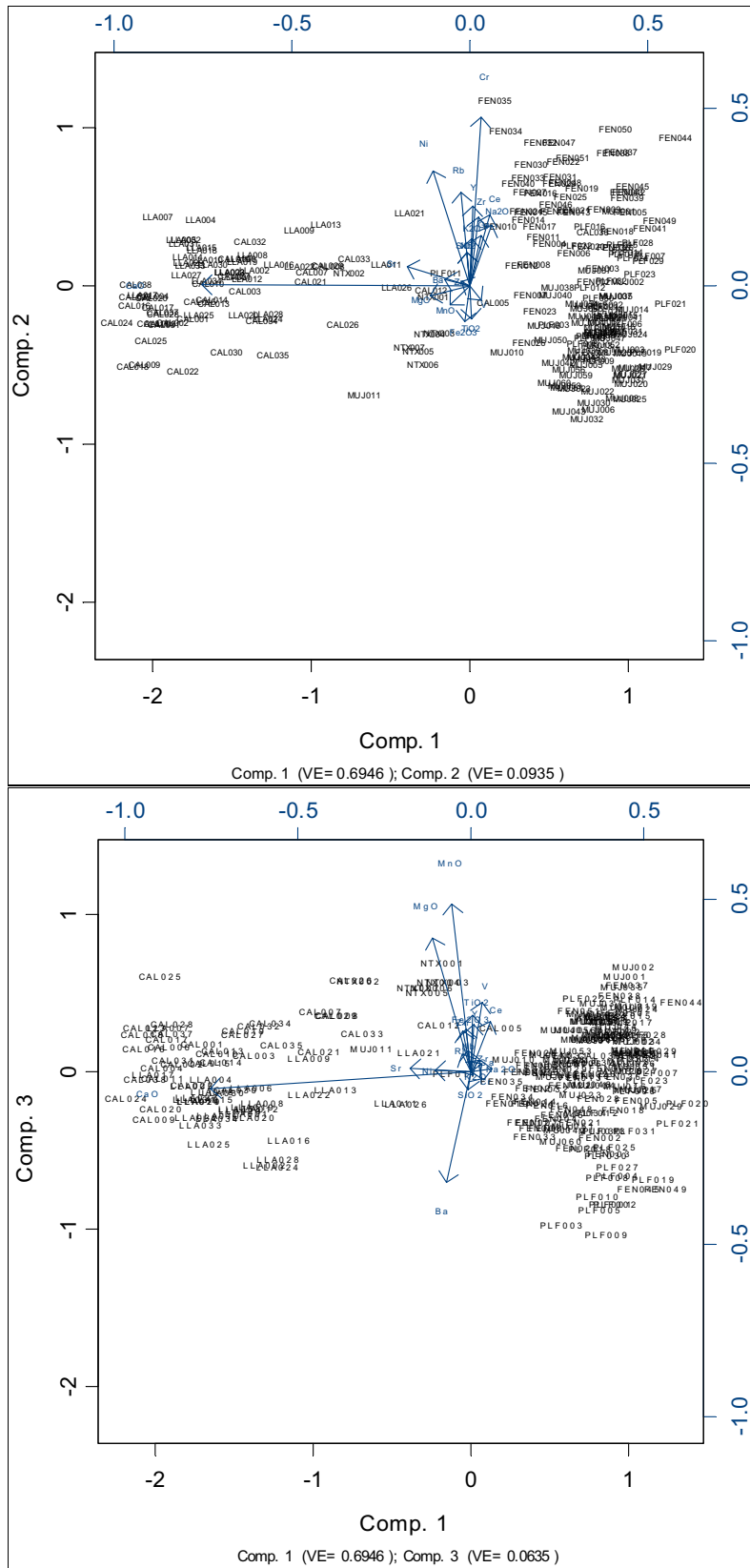
A la dreta del dendrograma es tornen a situar els individus que conformen el grup B, format per la pràctica totalitat dels individus recuperats en els centres del Collet de Sant Antoni de Calonge i Llafranc. El primer mostra una estructura similar a la ja observada en la primera anàlisi de conglomerats, amb dues agrupacions principals diferenciades fonamentalment en els continguts relatius en CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, Zr, Y, Ce, V, Zn, Ga i Cr. És interessant observar com a l'agrupació CAL-1\* (que es correspon a l'etiquetada anteriorment com CAL-1) se li afegeix ara una Pascual 1 (LLA009) i dues Dressel 7-11 (LLA013, LLA022) de Llafranc, a causa d'extreure de

l'anàlisi el component Pb, del qual aquests tres individus mostren unes concentracions lleugerament superiors als individus amb els que ara s'agrupen. Igualment, es veu ara com, un cop s'ha extret de l'anàlisi el component Cu, principal responsable de les diferències exhibides per l'individu Oberaden 74 (CAL038), aquest queda agrupat amb la majoria d'individus d'aquest centre en l'agrupació CAL-2\*, de manera similar al que li ocorre a l'individu Pascual 1 (CAL015). En el cas de Llafranc, s'observa com en el grup LLA-1\* s'hi afegeixen ara individus que restaven aïllats a causa de contaminacions puntuals que afectaven als components  $P_2O_5$ , Pb i Cu, com és el cas dels individus LLA010, LLA023, LLA024 i LLA025. Tanmateix, sense considerar aquests components, l'agrupació d'àmfores poc calcàries (LLA011, LLA201, LLA206) queda ara sense agrupar a l'esquerra del dendrograma, junt als individus menys calcaris de Calonge (CAL005, CAL012). Per finalitzar, és important observar la presència d'un individu Pascual 1 (LLA007) que, tot i el seu caràcter calcari, com la resta d'individus que s'agrupen en LLA-1\*, mostra importants diferències composicionals que podrien suggerir un origen al·lòcton, tot i que les dades discutides fins el moment no permeten suggerir cap centre o àrea de possible provenença. Aquestes diferències composicionals expliquen la seva ubicació marginal a l'esquerra de l'agrupació B.

Per tal d'ampliar les observacions anteriors a partir de l'anàlisi de conglomerats, s'ha efectuat sobre la mateixa subcomposició una anàlisi de components principals (ACP). L'ACP és una tècnica d'anàlisi estadística que, a partir de les dades originals, genera un nou conjunt de variables que són combinacions lineals de les variables anteriors, de manera que part de la variabilitat exhibida per totes les variables originals queda explicada per un nombre menor de components. Així, davant un conjunt de dades en què hi ha diverses variables en estudi —en el nostre cas els elements químics—, l'ACP permet reduir el nombre de variables perdent la menor quantitat d'informació possible. El punt de partida d'aquesta anàlisi és la covariació entre les variables. L'objectiu és generar un nou conjunt de variables —els components principals—, a partir de la combinació lineal de les originals i que, per definició, no estiguin correlacionades entre sí. Expressat d'altra manera, l'ACP representa un mètode matemàtic que permet extreure els eixos principals d'una matriu de variàncies-covariàncies (així com d'una matriu de correlacions) i, d'aquesta manera, indicar les

relacions existents entre les variables. En conseqüència, a partir de l'aplicació d'aquest mètode es poden indicar quins són els components principals responsables d'una tendència en les dades originals, així com les variables que n'estan relacionades (Davis 1986; Pérez López 2004).

En la Figura 45 es poden veure els biplots resultants de l'ACP realitzada amb el programa S-Plus 2000 (MathsSoft 1999) sobre la matriu de variàncies-covariàncies de la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, utilitzant l' $\text{Al}_2\text{O}_3$  com a divisor en la transformació en logaritmes de raó. En aquesa ocasió, tampoc no han estat tinguts en compte els components  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Pb, Cu, car part de la seva variabilitat sembla estar lligada, en alguns casos, a processos d'alteració i contaminació i, per tant, podrien pertorbar l'estructura subjacent en el conjunt de les dades.



**Figura 45.** Biplot resultant de l’anàlisi de components principals sobre la subcomposició Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (com a Fe total), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, TiO<sub>2</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, emprant l’Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> com a divisor. Superior: el component principal 1 (en abscisses) i el component principal 2 (en ordenades). Inferior: el component principal 1 (en abscisses) i el component principal 3 (en ordenades).

Els resultats de l'ACP mostren com els tres primers components principals expliquen el 85.16% de la variabilitat existent, mentre que els cinc primers components principals n'expliquen el 91.02%. La representació gràfica de l'ACP permet veure com els resultats d'aquesta anàlisi són consistents amb els que hem exposat fins el moment. En ambdós biplots (Figura 45) es poden identificar clarament les dues grans agrupacions definides amb els anàlisis de conglomerats (A i B), corresponents, d'una banda, a la pràctica totalitat dels individus recuperats en els centres productors de Can Notxa, C/ de Guillem de Palafolls, El Mujal i Fenals (grup A), situats a la dreta dels dos biplots, i, d'altra, als individus procedents dels centres del Collet de Sant Antoni de Calonge i Llafrac (grup B), situats a l'esquerra dels biplots. L'avaluació del pes que té cada variable original en els nous components principals ofereix una estimació del percentatge de variació que és explicat pels components. Examinant el primer component principal (Comp. 1) s'aprecia que per sí mateix explica un 69.46% de la variació existent. Aquest component està clarament determinat per l'atracció del CaO als valors negatius (del qual explica el 88.46% de la seva variació) i, en molta menor mesura, pels valors de l'Sr, MgO i Ni (dels quals explica el 4.81, 1.92 i 1.65% de la seva variació, respectivament) atrets també pels els valors negatius. En aquest sentit destaca la correlació positiva moderada existent entre el CaO i l'Sr, Ba i MgO, com així ho indica el fet que els vectors d'aquests elements tendeixen a la superposició, formant un angle proper a 0°. Així, sembla clar que el Comp. 1 representa una tendència sobre el caràcter calcari (o poc calcari) de les àmfores, i que aquesta tendència resumeix la major part de la variació existent en el conjunt de les dades químiques.

L'observació dels pesos del segon component principal (Comp. 2) indiquen clarament que la seva importància és molt menor a la del Comp. 1. Certament, aquest Comp. 2 permet explicar sols un 9.35% de la variabilitat existent. Tanmateix cal remarcar l'excepció representada fonamentalment per l'element Cr, el que ens indica que és amb aquesta variable amb la qual el Comp. 2 està especialment associat, explicant el 35.28% de la seva variació. En menor mesura, aquest Comp. 2 apareix associat als elements Ni, del qual n'explica el 16.36% de la variació, i Rb, del que n'explica un 10.85%.

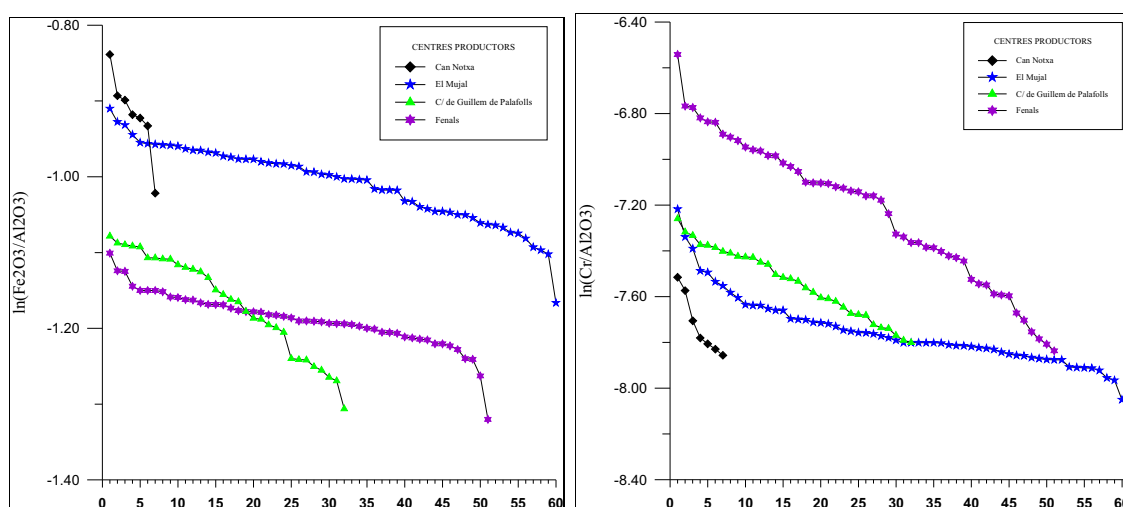
Per la seva banda, el tercer component principal (Comp. 3), el qual permet

explicar un 6.35% de la variació existent en el conjunt de les dades, apareix especialment associat als valors positius del MnO, del qual explica el 36.95% de la seva variació, així com pels valors positius del MgO i negatius del Ba, dels quals n'explica el 23.49% i el 16.04%, respectivament.

Els biplots de la Figura 45 (superior i inferior) mostren com la majoria dels individus que presenten puntuacions extremes en aquests components principals estan atrets especialment per la part negativa i positiva del Comp. 1 i que, per tant, queda marcada la diferència entre les agrupacions calcàries i les poc calcàries, respectivament. A més, cal destacar la relativa dispersió que s'observa pel que fa a la ubicació dels individus en els biplots, la qual és especialment marcada en el cas de les agrupacions calcàries del Collet de Sant Antoni de Calonge i Llafranc, cosa que indica una similitud composicional relativament baixa entre aquests individus. Aquesta relativa dispersió afecta a tots els elements retinguts en l'ACP tot i ésser més evident en el cas de les agrupacions que conformen el grup B de ceràmiques calcàries, situades a l'esquerra dels biplots, atretes pels valors alts de CaO. Aquesta situació és deguda a la important dispersió en el contingut de CaO que mostren els individus d'aquests centres.

Si centrem ara l'atenció en les puntuacions del Comp. 2 també es poden constatar altres tendències rellevants que, per definició, són independents de la definida pel Comp. 1. En aquest sentit, és interessant observar com, pel que respecta als individus del grup B, la major part dels individus de Llafranc queden separats de la majoria d'individus de Calonge. Els primers queden atrets per la part positiva del Comp. 2, mentre que els segons són atrets per la part negativa d'aquest Comp. 2. La contrastació de les puntuacions que mostren aquests individus en el Comp. 2 amb la seva composició química indica una clara tendència dels individus atrets per la part positiva de tenir uns continguts relatius més baixos en TiO<sub>2</sub>, mentre que els individus atrets per la part negativa tendeixen a mostrar uns continguts relatius més baixos en Na<sub>2</sub>O i més alts en MnO. Tanmateix, és entre els individus del grup B, situats a la dreta dels biplots, que aquest Comp. 2 estableix les diferències més clares. Les més destacables responen a l'oposició entre els continguts relatius de Cr, atrets pels valors positius del Comp. 2, i de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, atrets pels valors negatius d'aquest Comp. 2. Una anàlisi més detallada de les puntuacions que representen als individus del grup A en aquest segon component

principal indica que els valors positius més alts es corresponen a la pràctica totalitat dels individus de Fenals, els quals tendeixen a adoptar els valors més alts en Cr i baixos en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , i els valors negatius més alts corresponen a la majoria d'individus d'El Mujal, que tendeixen a adoptar els valors més alts en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , però més baixos en Cr.



**Figura 46.** Esquerra: Valors  $\ln(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3)$  ordenats en rang descendent (en ordenades) per cada una de les observacions realitzades (en abscisses). Dreta: Valors  $\ln(\text{Cr}/\text{Al}_2\text{O}_3)$  ordenats en rang descendent (en ordenades) per cada una de les observacions realitzades (en abscisses).

Aquestes característiques comunes poden ésser observades en els gràfics bivariants de la Figura 46 on queden representats els valors transformats dels components  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (esquerra) i Cr (dreta) per a cada un dels individus procedents dels centres de Can Notxa, El Mujal, C/ de Guillem de Palafoxs i Fenals. La numeració de l'eix de les abscisses en els gràfics no es correspon a la sigla de cada individu en concret, sinó que sols indica el nombre d'observacions realitzada en cada centre. Com queda reflectit, el contingut de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  discrimina aparentment les produccions de Can Notxa i El Mujal, d'una banda, de les del C/ de Guillem de Palafoxs i Fenals, d'altra, essent especialment marcades les diferències entre El Mujal i Fenals. A partir dels dos gràfics de la Figura 46 queda igualment palesa l'oposició entre els dos elements  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i Cr, de manera que els individus amb continguts més alts de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  exhibeixen un menor



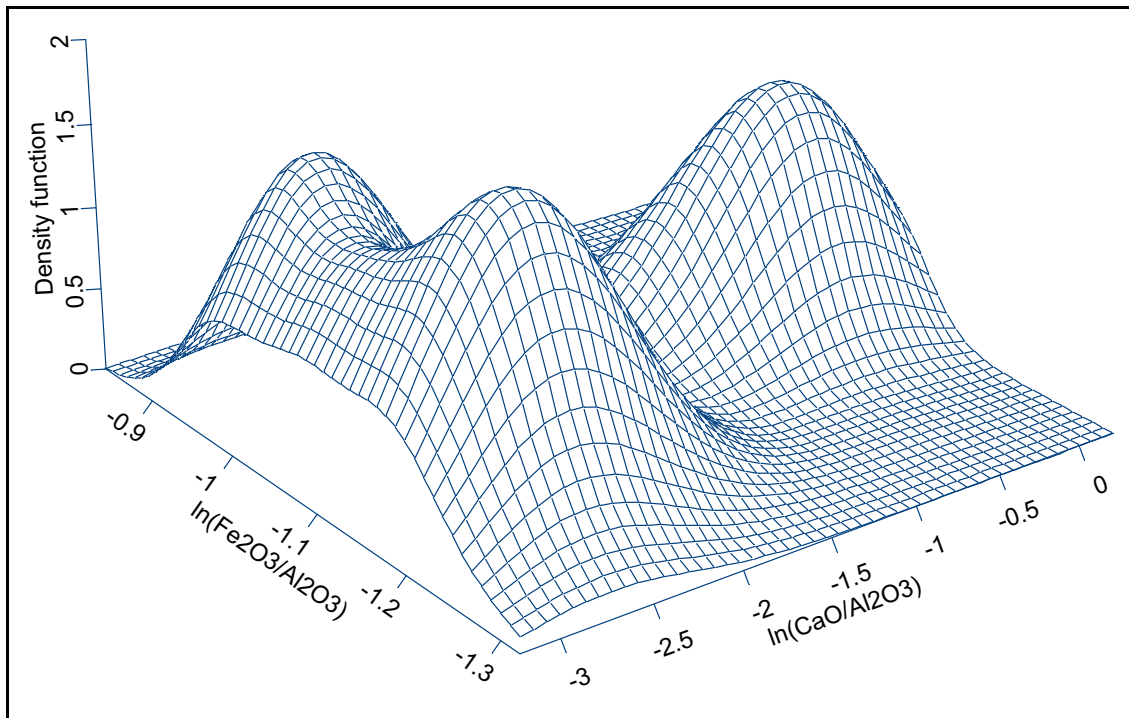
contingut en Cr, i viceversa. En aquest cas també, la tendència és especialment més marcada en els casos d'El Mujal i Fenals. Així doncs, a partir de les dades exposades fins el moment és aparent l'existència de variacions comunes que discriminen de manera especial les produccions d'El Mujal i de Fenals, i que són degudes a un efecte conjugat: l'oposició entre els continguts relatius de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i Cr.

Per tal d'estimar la significació estadística d'aquestes diferències s'ha efectuat el càlcul dels intervals de confiança sobre els valors transformats de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dels centres productors d'El Mujal i Fenals. En primer lloc hem realitzat un contrast de *Kolmogorov-Smirnov* per a aquests valors en cada conjunt. Els resultats permeten concloure que, en ambdós casos, els valors s'ajusten a una distribució normal amb un 95% de confiança (el valor del nivell crític en el cas d'El Mujal és  $0.131308 > 0.05$ , i en el cas de Fenals és  $0.638598 > 0.05$ ). A partir d'aquí, els intervals de confiança han estat calculats sota l'assumpció que el paràmetre de la variància és igual en ambdós casos. Així, s'han calculat els intervals de confiança de les variàncies d'ambdues mostres mitjançant l'estadístic *F* (Miller i Miller 2002: 43-71). El resultat mostren que l'interval de confiança del 99.9% situa la raó de les variàncies entre 0.59 i 5.29 i que, per tant, es pot concloure que no existeixen diferències significatives entre les variàncies de les dues mostres.

Posteriorment, s'ha realitzat el contrast de significació a partir de l'estadístic *t* sobre la mitjana aritmètica dels valors transformats de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Els resultats indiquen que, en el cas d'El Mujal, l'interval de confiança del 99.9% situa els valors  $\ln(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3)$  entre -1.03 i -0.98. D'altra banda, l'interval de confiança del 99.9% dona, en el cas de Fenals, uns valors  $\ln(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3)$  entre -1.20 i -1.17. Aquestes diferències entre mitjanes que se situen, doncs, entre 0.15 i 0.21. Així, assumint el mateix paràmetre de variància, l'estadístic *t* dona com a resultat ( $t=21.23$ ) una diferència altament significativa entre ambdues mitjanes. Cal dir que en cas de no assumir variàncies iguals s'aconsegueix un resultat molt similar ( $t=21.74$ ). Aquests resultats permeten concloure, en definitiva, que les diferències entre els continguts relatius de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  que s'observen entre els centres productors d'El Mujal i Fenals s'han de considerar altament significatives des del punt de vista estadístic. O expressat amb altres paraules, es pot afirmar que la probabilitat que les diferències observades es deguin a l'atzar és menor

del 0.01%.

En la Figura 46 es pot observar una altre imatge reveladora sobre la tendència que permet diferenciar les produccions dels centres d'El Mujal i Fenals. Aquesta gràfica mostra l'estimació de la funció de densitat de probabilitat mitjançant el mètode *kernel* a partir de dues variables. En aquest cas s'han seleccionat els valors transformats del CaO i del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  amb la intenció de posar de relleu les tendències observades en el caràcter calcari de les àmfors alhora que es mostrin les diferències discutides fins ara respecte les produccions poc calcàries, les quals es manifesten més clarament en els continguts relatius de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .



**Figura 47.** Gràfic bivariant d'estimació de la funció de densitat mitjançant el mètode *kernel* dels valors  $\ln(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3)$  i  $\ln(\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ .

Aquesta estimació mostra les diferents tendències indicades per l'ACP. D'una banda, s'estableix una clara divisió en els valors transformats de CaO, situant-se a l'esquerra de l'eix d'abscisses les observacions corresponents a les produccions poc calcàries i a la dreta les produccions calcàries. D'altra banda, es constaten dues modes

diferenciades entre les produccions poc calcàries, que s'expliquen pels diferents continguts en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Els dos pics de major densitat representen el gruix de les produccions indentificades en el centre productor d'El Mujal, a l'esquerra de l'eix d'ordenades i corresponents a uns continguts relatius de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  més elevats, i de Fenals, a la dreta, corresponents a uns continguts relatius més baixos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . La resta de produccions poc calcàries, corresponents a la pràctica totalitat dels individus de Can Notxa i del C/ de Guillem de Palafolls, queden situades en àrees de menor densitat, segons indiquen les funcions *kernel*, distribuïdes al llarg de l'àrea existent entre aquests pics principals.

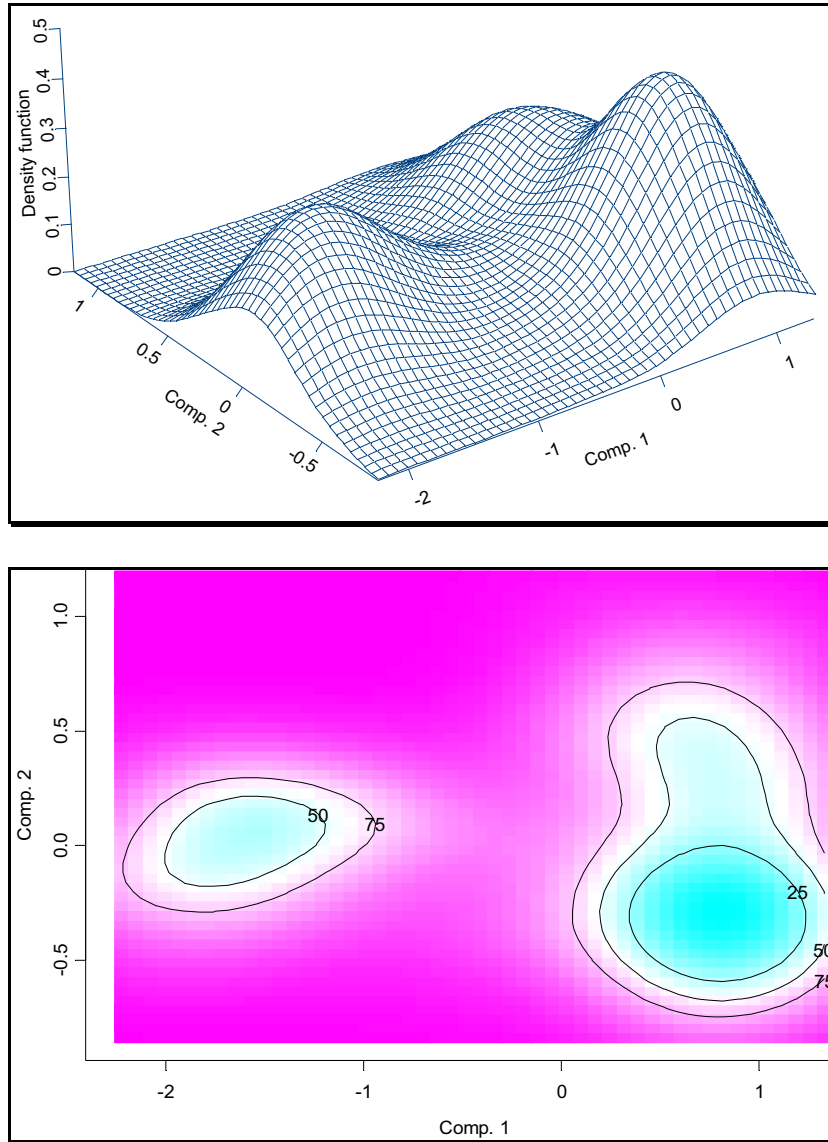
Finalment, l'estudi de les puntuacions del Comp. 3 (Figura 45, inferior), associat especialment als valors positius del MnO i MgO i als negatius del Ba, indica com aquests elements són els principals responsables de la separació entre la major part dels individus procedents de Calonge, ara atrets vers els valors positius del Comp. 3, i els procedents de Llafranc, atrets pels valors negatius d'aquest component. En aquesta ocasió, les diferències observades són degudes als continguts relatius més alts en MnO i, de manera més moderada, en MgO que caracteritza a la major part dels individus de Calonge respecte els de Llafranc.

### 7.2.3 Síntesi del tractament estadístic

A manera de resum, les diferents tendències que revelen tant l'anàlisi de conglomerats com l'ACP són presentades en la Figura 48. En la part superior apareix l'estimació de la funció de densitat de probabilitat mitjançant funcions normals *kernel* a partir de les puntuacions dels dos primers components principals, els quals expliquen un 78.81% de la variància total existent en les 21 variables originals. En la part inferior es mostra una manera alternativa de presentar l'estimació de densitat de probabilitat a partir de dues variables; en aquest cas, els mateixos dos primers components principals. En aquesta gràfica, la densitat de probabilitat de les observacions apareix indicada amb diferents colors i intensitats. La gradació s'estableix des del color blau intens per a l'àrea de major densitat, fins al color blanc per a indicar l'àrea menys densa. A més, al voltant de les àrees acolorides s'han dibuixat els contorns que indiquen les proporcions específiques de les observacions que agrupen. Així, el contorn etiquetat amb un 75

agrupa el 75% de les observacions corresponents a les densitats de probabilitat més altes. De manera similar s'han d'interpretar els contorns etiquetats amb 50 i 25. El principal avantatge que presenten aquestes dues gràfiques rau en el fet que resumeixen bona part de la variabilitat existent en les dades químiques (en aquest cas concret el 78.81%) a partir de només dues variables, alhora que permeten una clar reconeixement visual de les tendències existents.

El resultat de l'estimació mostren que, de fet, existeixen tres modes separades que indiquen les principals tendències subjacents en les dades químiques dels centres productors. Així, d'una banda, es confirma la divisió entre produccions calcàries —representades per la pràctica totalitat dels individus recuperats als centres productors del Collet de Sant Antoni de Calonge i Llafranc—, atretes pels valors negatius del Comp. 1, i poc calcàries —representades per la pràctica totalitat dels individus recuperats als centres productors de Can Notxa, El Mujal, C/ de Guillem de Palafolls i Fenals—, atretes pels valors positius del Comp. 1. Aquí cal destacar una major dispersió relativa, especialment, entre les produccions calcàries, com pot ésser apreciat en la Figura 48 (inferior) on tant el 75% com el 50% de les observacions que corresponen a les densitats més altes recorren, proporcionalment, una major part del Comp. 1 el qual, recordem-ho, descriu la tendència sobre el caràcter calcari de les àmfores.



**Figura 48.** Superior: Gràfic bivariant d'estimació de la funció de densitat de probabilitat mitjançant el mètode *kernel* de les puntuacions del primer component principal (Comp. 1) i del segon (Comp. 2). Inferior: Imatge obtinguda a partir de la densitat de probabilitat estimada mitjançant el mètode *kernel* a partir de les puntuacions del primer component principal (Comp. 1) i del segon (Comp. 2). Els contorns etiquetats (25, 50, 75) indiquen el percentatge d'observacions que agrupen.

Finalment, s'observa també una segona tendència, independent de la primera, que ve marcada bàsicament per l'oposició entre els continguts relatius de Cr i  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . En

aquest cas, els valors alts de Cr i baixos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  apareixen atrets pels valors positius del Comp. 2 i els valors més baixos de Cr i més alts de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  són atrets pels valors negatius del Comp. 2. És aparent en ambdues gràfiques de la Figura 48 que aquesta tendència sembla afectar d'una manera molt més intensa a les produccions poc calcàries que a les calcàries. Es pot observar que el grup de ceràmiques calcàries té molt poca variació respecte el Comp. 2, a diferència del que ocorre amb les produccions poc calcàries, de les quals, no sols el 75% de les observacions de major densitat, sinó fins i tot el 50% i, en menor mesura, en el 25%, mostren una variació important explicada pel Comp. 2.

### 7.3 *Avaluació de la variabilitat química*

La metodologia seguida en aquest treball en quant al tractament estadístic de les dades químiques parteix de l'avaluació de la variabilitat química a partir de la MVC  $i$ , més concretament, del valor  $vt$  obtingut en el seu càlcul. Aquest valor permet mesurar quantitativament la variabilitat existent en el conjunt de les dades  $i$ , en aquest sentit, proporciona una primera estimació sobre el possible caràcter monogènic o poligènic del conjunt analitzat (veure Buxeda i Kilikoglou 2003). Tanmateix, aquest procediment s'assenta sobre diverses assumpcions. La primera és de caire estadístic. Per tal d'interpretar l'estructura existent en les dades químiques, l'anàlisi mitjançant tècniques estadístiques assumeix que les concentracions elementals segueixen una distribució normal multivariant. Una altra de les premisses assumides és la que recull l'anomenat postulat de provenença (Weigand *et al.* 1977: 24), en funció del qual s'entén que la variabilitat existent dins d'una determinada àrea d'aprovisionament de matèria primera ha d'ésser significativament menor a la variabilitat existent entre diferents àrees. Tanmateix, aquest postulat sorgeix d'una recerca sobre materials lítics, la manipulació dels quals durant el procés de manufactura, en termes de provenença, no afecte el senyal que es detecta respecte la composició de la font d'aprovisionament. En canvi, en el cas de materials sintètics com són les ceràmiques la situació és completament diferent. En la majoria de casos difícilment es poden establir relacions unívocues, en termes de composició química, entre la ceràmica i l'argilera d'origen, ja que les eleccions tècniques que acaben per configurar el producte final modifiquen substancialment la

seva composició original (veure, per exemple, Buxeda *et al.* 2003; Cogswell *et al.* 1996). Com a corol·lari lògic s'hauria d'acceptar, per tant, que els estudis de provenença de ceràmiques arqueològiques s'han de fonamentar sobre grups de referència formats a partir de la caracterització de les pastes, i no de les matèries primeres. Sols d'aquesta manera serà possible, per exemple, establir filiacions amb produccions concretes d'un mateix centre productor i, a partir d'aquí, interpretar quines són les causes explicatives i les possibles implicacions que pugui tenir la conducta humana en aquesta diversitat.

Una altra de les assumpcions freqüents en l'estudi de la tecnologia ceràmica és basa en el seu caràcter conservador. Així, en el context de la producció, un cop s'ha establert que la conjunció d'una determinada recepta de pasta amb unes determinades eleccions tècniques i un disseny formal concret respon adequadament a les competències requerides al llarg de la cadena de comportament, es generaria una tendència cap el seu manteniment, en tant que un canvi en algunes d'aquestes eleccions podria resultar contraproductiu en alguna interacció específica posterior. Com a conseqüència d'això, s'entén que les ceràmiques fabricades a partir d'una mateixa pasta i executant unes mateixes eleccions tècniques haurien de mostrar una relativa homogeneïtat química. Ara bé, aquesta darrera assumpció ha d'ésser emprada cautelosament, especialment en l'estudi de tecnologia ceràmica, donat que és necessari considerar, a més, el conjunt de camps d'actuació —simbòlic, econòmic, tècnic i processos cognitius— en els quals tenen lloc la de producció, distribució i consum de la tecnologia, així com els mateixos processos de formació del registre arqueològic. En cas contrari existeix el perill de fer una lectura excessivament rígida de la variació química, establint un límit per sobre del qual els valors *vt* s'atribueixin a un poligenisme de la mostra, sense prendre en consideració les característiques tecnològiques de cada producció en particular. Per il·lustrar aquestes consideracions plantejarem un exemple hipotètic simplificat en extrem. Considerem el cas d'un centre productor que fabriqui dos tipus diferents de ceràmica, la ceràmica A i la ceràmica B. Considerem també que la fabricació d'ambdós tipus és duta a terme per un mateix ceramista que pren les mateixes eleccions tècniques en la producció dels dos tipus i que explota una mateixa argilera. No obstant, la ceràmica A es produeix en quantitats diferents a la ceràmica B (o durant períodes diferents de temps). Així, de la ceràmica A es produeix una quantitat  $x$  (o

durant un període  $x$  de temps), mentre que de la ceràmica B se'n produeixen, per exemple,  $12x$  (o durant un període de  $12x$ ). Evidentment, la variabilitat geoquímica lligada a l'explotació de l'argilera, i que es reflectirà necessàriament en l'anàlisi de les pastes ceràmiques, serà superior en el cas del tipus B, per bé que en els dos casos es tracta d'una producció igualment monogènica. Imaginem, d'altra banda, que també hi ha diferències en la deposició final dels rebuigs de cocció, de manera que els rebuigs del tipus A s'aboquen en concloure tota la producció  $x$ , mentre que els rebuigs de B s'aboquen després de  $5x$ . En aquest cas, també, es podria observar una variació superior en B, tot i ser una producció tan monogènica com A. La simplicitat d'aquests exemples serveix per emfatitzar el fet que la variació total d'un conjunt de dades composicionals químiques no es pot entendre de manera absoluta exclusivament en termes de poligenisme o monogenisme de la mostra (Buxeda i Kilikoglou 2003).

En aquest treball, l'avaluació de la variabilitat química exhibida pels diferents conjunts amforals parteix d'un procediment de remostreig aleatori dels individus analitzats (Efron 1982; Efron i Tibshirani 1993). Aquest procediment, implementat originalment en estudis arqueomètrics per Buxeda i Kilikoglou (2003), permet obtenir informació de tot el conjunt de les dades composicionals a partir del càlcul de MVC sobre parts d'aquest conjunt (veure també Kilikoglou *et al.* 2007; Vila *et al.* 2006). Per a cada conjunt de dades que es vol avaluar la variabilitat, es calculen múltiples MVC sobre un nombre determinat d'individus que són seleccionats de manera aleatòria i, posteriorment, s'analitza la distribució de la variabilitat en comparació a altres casos en estudi.

Aquesta metodologia ha de permetre:

- 1) Avaluar la influència que tenen els elements químics relacionats amb processos d'alteració i/o contaminació en la variació total ( $vt$ ) obtinguda en el càlcul de la MVC.
- 2) Una aproximació a l'efecte que pot tenir el nombre de mostres analitzades en la representativitat de la  $vt$  assumida per a cada centre.
- 3) Estimar quins són els individus que més variabilitat aporten al conjunt analitzat i conèixer les causes d'aquesta aportació; si es tracta de variacions en elements



puntuals o, per contra, de diferències que afecten de manera més general a tota la composició.

- 4) Estimar els conjunts d'individus que mostren els valors  $v_i$  més baixos per a cada centre.
- 5) Establir amb un cert grau de confiança els límits entre els quals es poden situar els valors  $v_i$  de les produccions estudiades en funció del nombre d'individus analitzats.
- 6) Comparar la variabilitat observada en els conjunts amforals amb la d'altres tecnologies ceràmiques d'època romana.

De manera complementària al remostreig aleatori d'individus, l'avaluació de la variabilitat química en la nostra metodologia comporta l'estudi dels valors  $v_i/\tau_i$  obtinguts també en el càlcul de la MVC. Aquests valors permetran estimar la variabilitat introduïda per cada element en diferents conjunts de dades. Aquest procediment ha de permetre valorar, entre d'altres aspectes:

- 1) Si existeixen similituds o diferències significatives entre els models de variació exhibits per diferents grups químics.
- 2) Si els centres en els quals es tenen documentades diferents produccions segueixen el mateix model de variació o si, per contra, existeixen diferències que puguin suggerir canvis en les matèries primeres emprades en la preparació de les pastes.

### 7.3.1 Remostreig aleatori d'individus

Per tal d'entendre quin és el procediment i com funciona el mètode de remostreig aleatori d'individus en l'avaluació de la variabilitat química existent en els diferents conjunts analitzats, cal partir del concepte de distribució mostral (Orton 2000; Shennan 1997; Sokal i Rohlf 1986). Considerem un paràmetre que descriu la distribució de funció de probabilitat d'una població, el qual és estimat a partir d'un estimador estadístic sobre una mostra extreta d'aquesta població. La distribució mostral de l'estimador estadístic pot ésser entès com una freqüència relativa de tots els possibles valors d'aquest estimador, calculats sobre un nombre infinit de mostres aleatòries de

mida  $n$  extretes de la població (Efron 1982; Efron i Tibshirani 1993). Apreciar els factors que poden influir en la forma de la distribució mostral de l'estimador és rellevant en tant que és precisament l'estimació d'aquesta distribució el que permetrà realitzar inferències sobre la població en estudi. De fet, tant els diversos mètodes de remostreig com altres procediments tradicionals paramètrics pretenen assolir un objectiu similar, a saber, estimar la distribució mostral d'un determinat estimador emprant una quantitat limitada d'informació i, a partir d'aquí, fer inferències sobre el paràmetre poblacional. La diferència entre aquests procediments és la manera en què s'obté la distribució mostral; les aproximacions paramètriques requereixen d'assumpcions sobre la forma que hauria de mostrar la distribució de l'estimador estadístic, cosa que no succeix amb el mètode de remostreig aleatori. Mitjançant aquest procediment, l'estimació de la distribució mostral parteix del fet que la mostra és una bona representació de la distribució poblacional.

El nostre procediment en la realització del remostreig aleatori d'individus parteix del que es coneix com a procediment Monte Carlo (Manly 1997). El mètode de remostreig Monte Carlo estima quina és la distribució d'una mostra a partir de seleccionar aleatòriament un nombre elevat de mostres de mida  $n$  d'una població, i calculant per a cada una d'elles el valor associat a l'estimador estadístic. La distribució de la freqüència relativa de tots aquests estimadors calculats és l'estimació de la distribució mostral per a aquest estimador en concret. Per tant, quant més gran sigui el nombre de mostres de mida  $n$ , més acurada serà la distribució de la freqüència relativa dels estimadors. En el nostre procediment, s'efectua un remostreig aleatori sobre cada un dels conjunts amforals dels quals se'n vol avaluar la variabilitat química, ja sigui, per exemple, tot el conjunt amforal o bé dels conjunts que representen a cada centre productor o a cada centre receptor.

El remostreig s'ha realitzat mitjançant un programa informàtic propi que permet generar mostres aleatòries sobre un conjunt i calcular-ne la MVC. El procediment s'ha efectuat seguint els passos que es descriuen a continuació:

- 1) Cada un dels conjunts en estudi està format per  $n$  individus. Així, per a cada un d'aquests individus s'estableix una probabilitat d'ésser seleccionat d' $1/n$ , de tal

manera que tots els individus del conjunt en estudi tinguin les mateixes probabilitats d'ésse seleccionats en cada remostreig efectuat.

- 2) A partir de cada un dels conjunts, s'ha seleccionat aleatòriamet una mostra d'individus de mida  $<n$ , que anomenarem "subconjunt".
- 3) Per a cada subconjunt seleccionat aleatòriament s'ha calculat l'estimador estadístic d'interès; en aquest cas, la MVC. Posteriorment, els individus que formen el subconjunt passen de nou a formar part del conjunt inicial, de manera que tornen a tenir les mateixes probabilitats d'ésser seleccionats en un altre remostreig.
- 4) Els passos 2 i 3 es repeteixen  $T$  vegades, essent  $T$  un nombre relativament gran. Intruïtivament es pot entendre que, a mesura que  $T$  augmenta, és més probable obtenir més informació en tant que augmenten la representativitat de les possibles combinacions d'individus. Ara bé, encara que la consistència matemàtica és una justificació important, és igualment important considerar el criteri de practicitat a l'hora d'establir quina ha d'ésser la mida de  $T$  per a aconseguir uns resultats satisfactoris. En realitat aquesta és una qüestió empírica que depèn de l'estimador calculat i de l'exactitud desitjada, tenint en compte que l'augment de  $T$  suposa un increment del temps de computació. En general es considera que la millora d'un mètode de remostreig és notable quan  $T > 1000$  (Manly 1997). En el nostre cas concret, hem aconseguit un compromís, condicionat fonamentalment pel temps de computació necessari en el càlcul de les MVC, on  $T = 2000$ .
- 5) Avaluar la distribució dels valors  $v_t$  obtinguts en les sèries de MVC calculades. En aquest cas, hem optat per la representació mitjançant els gràfics de caixa i bigotis, car faciliten la comparació visual de les diferents distribucions.

Seguint aquest procediment, hem efectuat dos experiments de remostreig aleatori (I i II). Amb l'experiment I se cerca avaluar la influència dels components que més variabilitat aporten a tot el conjunt de les dades químiques dels centres productors. En el segon s'avaluarà i es compararà la variabilitat que, en particular, mostren tots els centres en estudi (centres productors i centres receptors). En aquest mateix experiment

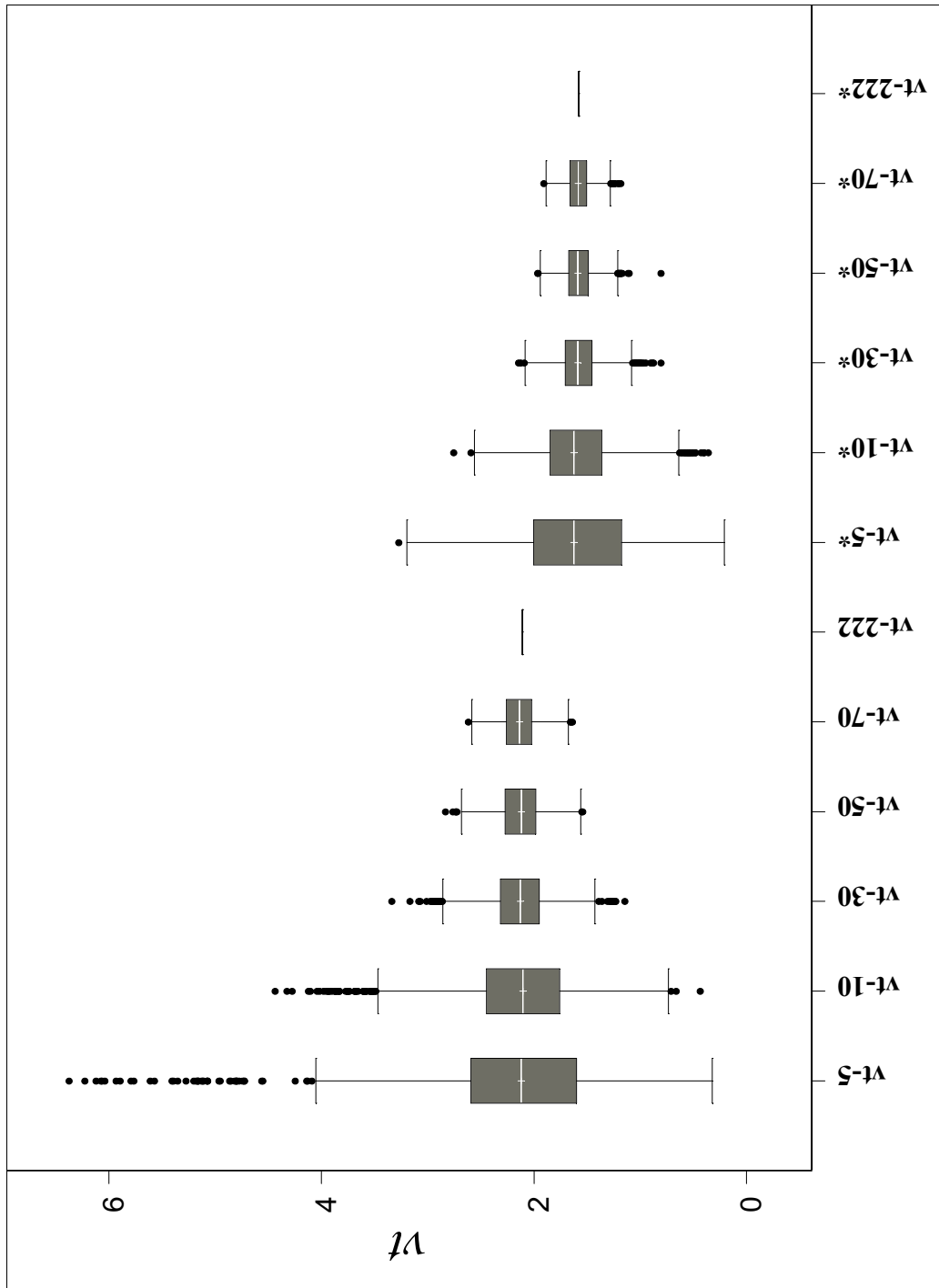
es compararà la variabilitat química observada en la producció amforal i la d'una altra producció ceràmica romana de cronologia similar: la *terra sigillata*.

### 7.3.1.1 *Experiment de remostreig aleatori I*

Sobre el total dels 222 individus procedents dels sis centres productors en estudi, s'han generat aleatòriament subconjunts formats per 5, 10, 30, 50 i 70 individus, i se n'ha calculat la MVC. Aquesta operació s'ha repetit 2000 vegades per tal d'aconseguir un nombre representatiu de les combinacions possibles. Les MVC s'han calculat, en primer lloc, sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Cu, Ni i Cr. Tanmateix, com ja hem discutit, el  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Pb i Cu són alguns dels components que imposen una major variabilitat a tot el conjunt de dades composicionals, part de la qual és deguda, molt probablement, a diversos processos d'alteració i contaminació. Així, per tal de valorar amb més detall la seva influència en la variació total de tot el conjunt, hem repetit el mateix procediment però excloent-hi aquests tres components.

En la Figura 49 es mostren els gràfics de caixa i bigotis dels 2000 valors *vt* obtinguts en el càlcul de les MVC per a cada subconjunt generat. Les distribucions dels valors *vt* dels subconjunts formats per 5, 10, 30, 50 i 70 individus, sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Cu, Ni i Cr, apareixen etiquetades en l'eix de les abscisses com a *vt-5*, *vt-10*, *vt-30*, *vt-50* i *vt-70*, respectivament. El valor *vt* que es correspon al conjunt dels 222 individus amforals procedents dels sis centres productors en estudi apareix indicat amb una línia horitzontal i etiquetat com a *vt-222*. A continuació, es presenta la distribució dels valors *vt* dels subconjunts formats per 5, 10, 30, 50 i 70 individus, obtinguts en el càlcul de la MVC sobre la subcomposició anterior excloent-hi els components  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Pb i Cu. Les distribucions dels valors *vt* d'aquests subconjunts apareixen etiquetades en l'eix de les abscisses com a *vt-5\**, *vt-10\**, *vt-30\**, *vt-50\** i *vt-70\**, respectivament. El valor *vt* corresponent al conjunt dels 222 individus amforals apareix indicat amb una línia horitzontal i etiquetat com a *vt\*-222*. Les observacions atípiques o valors *outliers* apareixen indicades amb un cercle. En la Taula 14 (Annex 1) es presenta un resum estadístic dels resultats obtinguts en aquest

experiment de remostreig aleatori.



**Figura 49.** Gràfics de caixa i bigotis dels resultats obtinguts en l'experiment de remostreig aleatori I. Les etiquetes (eix d'abscisses) sense asterisc representen els valors  $\nu_t$  (eix d'ordenades) obtinguts en el càlcul de les MVC sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Cu, Ni i Cr. Les etiquetes amb asterisc (\*) representen els valors  $\nu_t$  obtinguts en el càlcul de les MVC sobre la subcomposició anterior excloent-hi els components  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Pb i Cu.

El primer que queda palès en el gràfic de la Figura 49 és la reducció notable que es produeix en tots els subconjunts a causa de l'exclusió dels components  $P_2O_5$ , Pb i Cu. Es pot observar la important disminució de la  $vt$  exhibida pel total dels 222 individus procedents dels sis centres productors (de  $vt-222=2.1089$  a  $vt-222^*=1.5792$ ). No obstant, aquesta reducció es fa encara més evident en el cas dels subconjunts generats aleatòriament. Centrem, en primer lloc, l'atenció en la distribució dels 2000 valors  $vt$  calculats sobre els subconjunts de 5 individus ( $vt-5$  i  $vt-5^*$ ). En el primer cas, els valors exhibeixen una dispersió clarament superior, variant des de 0.32007 a 6.37607, el que correspon a un rang de 6.05599 en l'eix d'ordenades. Això suposa que la variació total varia entre un 15.18%, per sota del valor estimat per al conjunt de tots els individus, i un 302.34%, per sobre d'aquest valor. Els valors calculats un cop han estat extrets els components  $P_2O_5$ , Pb i Cu mostren una clara reducció d'aquesta dispersió. Els valors extrems de  $vt-5^*$  se situen en 0.2079, en el cas del valor mínim, i en 3.2722, en el cas del valor màxim. Això comporta una reducció del rang recorregut en l'eix d'ordenades de més del 50%, corresponent ara a 3.0643. Tot i aquesta reducció considerable, cal remarcar que els valors  $vt$  encara mostren una dispersió considerablement respecte el valor estimat per al conjunt total d'individus, des d'un 13.16% per sota, a un 207.21%, per sobre.

Una altra diferència important entre aquestes dues distribucions és la reducció del nombre d'observacions atípiques o valors *outliers*. Mentre que en la distribució  $vt-5$  n'apareixen fins a un total de 45, totes elles en la part superior de la distribució, en la distribució  $vt-5^*$  només n'apareix 1, situada també en la part superior. Aquest fet ens indica amb molta probabilitat que la major part dels valors  $vt$  més alts obtinguts en aquest experiment (concretament 44 de les 45 observacions atípiques de la distribució  $vt-5$ ) són deguts a la presència d'àmfores amb continguts anormalment alts en algun dels components  $P_2O_5$ , Pb i Cu (o bé, en més d'un). Un gran avantatge de la metodologia emprada en el remostreig aleatori és que permet identificar els individus que formen cada un dels subconjunts generats. Per tant, podem conèixer quins són els individus concurrents en els subconjunts que presenten una major  $vt$ , i confirmar que les observacions atípiques són degudes a possibles processos de contaminació d'aquests

elements. En aquest sentit, és interessant observar com en 44 de les 45 observacions atípiques identificades en la distribució *vt*-5 hi apareix l'individu CAL038 —Oberaden 74 procedent del centre productor del Collet de Sant Antoni de Calonge— entre els 5 seleccionats, el qual presenta, com ja hem discutit anteriorment, el que molt probablement sigui una contaminació en Cu. Així mateix, també cal destacar la presència dels individus LLA007 —Pascual 1 procedent de Llafranc—, LLA025 —Pascual 1 procedent de Llafranc— i CAL005 —Pascual 1 procedent del Collet de Sant Antoni de Calonge—, entre els subconjunts que tenen una major *vt* de tota la distribució *vt*-5. Un examen més aprofundit de la composició química d'aquests individus ens mostra que en el primer cas (LLA007) no hi ha cap indicatiu que permeti suggerir que la variabilitat imposada per aquest individu es degui a algun possible procés d'alteració i/o contaminació, sinó a l'existència d'importantes diferències en la seva composició global, cosa que probablement indica una provenença diferent als centres productors caracteritzats en aquest treball. Contràriament, la variabilitat imposada pels altres dos individus (LLA025 i CAL005) és deguda fonamentalment a uns continguts anormalment alts en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i Pb, en el primer cas, i en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en el segon<sup>31</sup>.

En la Taula 15 (Annex 1) apareixen identificats els individus que es corresponen amb els valors *vt* extrems, mínim i màxim, dels subconjunts formats per 5 i 10 individus, per a cada una de les subcomposicions químiques tractades en aquest experiment de remostreig aleatori. Si prenem atenció en el subconjunt de 5 individus que presenta una major *vt* (*vt*=6.37607) veurem que està format per àmfors que pertanyen als grups químics definits prèviament com a A i B, la principal diferència dels quals està en el contingut relatiu de CaO. Així, en aquest subconjunt hi ha la concurrència d'àmfors procedents dels centres d'El Mujal, C/ de Guillem de Palafolls, Collet de Sant Antoni de Calonge i Llafranc, els quals, com ja hem discutit, presenten importants diferències composicionals en les seves produccions. I no només això, sinó que a més destaca la concurrència dels individus CAL038 i LLA025 que, com ja hem esmentat, mostren molt probables contaminacions de Cu, en el primer cas, i de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i Pb, en el segon. Arribats a aquest punt, i donat que apareixen diferents causes que imposen una alta variabilitat, seria important poder identificar quins són concretament els individus

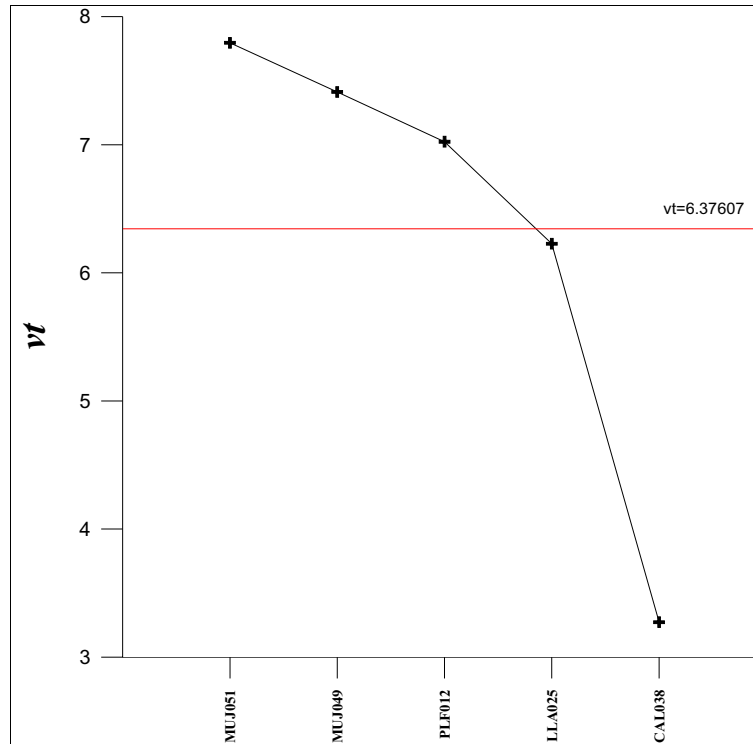
---

<sup>31</sup> Veure Figura 43.



que aporten una major variabilitat al subconjunt seleccionat, cosa que facilitaria la recerca de les causes explicatives d'aquesta variació. Amb aquest objectiu, hem calculat 5 noves MVC sobre aquest mateix subconjunt d'individus i sobre la mateixa subcomposició, però ara excloent de manera successiva un individu. Mitjançant aquest procediment de remostreig —anomenat *jackknife* (Efron 1982)—, podem identificar concretament quins són els individus sense els quals la  $vt$  del subconjunt es redueix i que, per tant, introdueixen més variabilitat, així com els individus sense els quals, la  $vt$  augmenta, o el que és el mateix, aquells que presenten majors similituds compositionals amb la resta. El resultat obtingut en aquesta nova sèrie de MVC s'il·lustren en el gràfic de doble entrada de la Figura 50. Aquest gràfic mostra en l'eix d'ordenades els valors  $vt$  obtinguts en el càlcul de les MVC, ordenats en rang decreixent, excloent l'individu que apareix en l'etiqueta de l'eix d'abscisses.

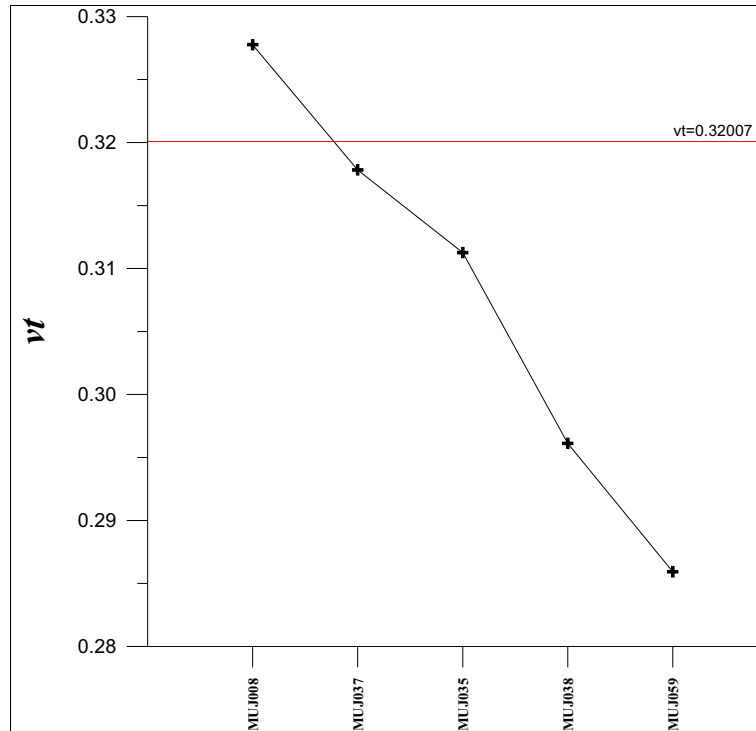
Com es pot veure en la Figura 50, els individus que aporten una major variació a aquest subconjunt són el LLA025 i, molt especialment, el CAL038. Queda clar que l'exclusió de cada un d'aquests dos individus implica una reducció de la  $vt$  de tot el subconjunt, essent especialment considerable en el cas de no incloure a l'individu CAL038, sense el qual la  $vt$  disminueix en un 51.33%, situant-se en 3.27285.



**Figura 50.** Valors  $vt$  (eix d'ordenades) obtinguts en el càlcul de 5 MVC exclouent successivament els individus indicats en les etiquetes (eix d'abscisses). La línia vermella horitzontal indica el valor  $vt$  dels 5 individus.

En el cas del subconjunt que mostra una menor  $vt$  de tota la distribució  $vt-5$ , els resultats mostren també el que seria d'esperar *a priori*; que estigués format per individus d'un mateix centre productor. Certament, el subconjunt que presenta la  $vt$  més baixa ( $vt=0.32007$ ) està format exclusivament per àmfors procedents d'El Mujal, i que, a més, 4 de les 5 corresponen al mateix tipus amforal, Laietana 1/Tarraconense 1 (Taula 15, Annex 1). Si repetim el mateix procediment que en el cas anterior i calculem 5 noves MVC sobre aquest subconjunt exclouent successivament un individu diferent, veiem com, en aquest cas, és l'exclusió de l'individu Pascual 1 MUJ008 el que comporta un augment de la  $vt$  respecte el valor inicial dels 5 individus (Figura 51). Expressat amb altres paraules, la seva presència en aquest subconjunt fa que la  $vt$  sigui

més baixa donat que presenta majors similituds composicionals amb la resta dels individus.



**Figura 51.** Valors  $vt$  (eix d'ordenades) obtinguts en el càlcul de 5 MVC exclouent successivament els individus indicats en les etiquetes (eix d'abscisses). La línia vermella horitzontal indica el valor  $vt$  dels 5 individus.

Contràriament, l'exclusió dels individus Laietana 1/Tarraconense 1 MUJ037, MUJ035, MUJ038, MUJ059, suposa en cada cas, una reducció del valor  $vt$  inicial. O el que és el mateix, la seva presència resulta en un augment de la variabilitat química del subconjunt. En qualsevol cas, cal precisar que la variació en els valors  $vt$  és substancialment diferent a l'observada en el cas anterior per al subconjunt de 5 individus que tenien la major  $vt$ . Mentre que, en el cas anterior, les diferències dels valors  $vt$  en l'exclusió successiva d'individus recorrien un rang de 4.52277, en aquesta ocasió el rang recorregut és de 0.04185. Un anàlisi més detallada de la composició química dels individus d'aquest subconjunt constata que cap d'ells presenta continguts

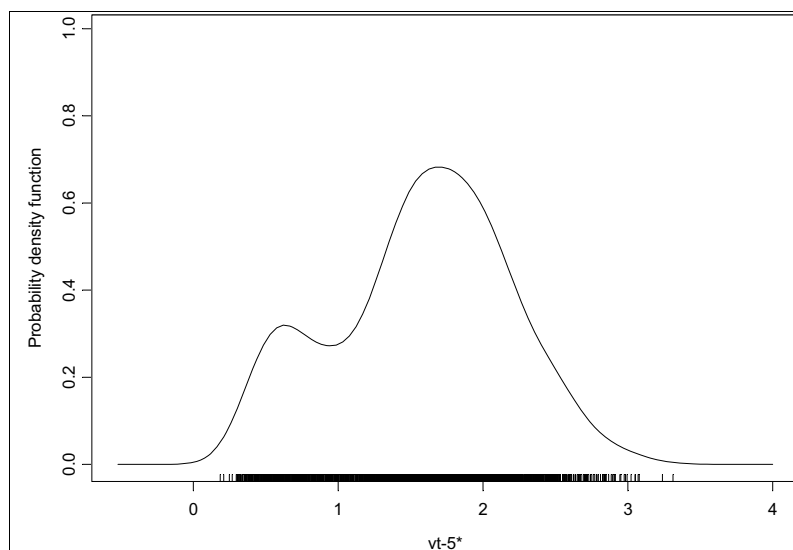
anormalment alts en  $P_2O_5$ , Pb o Cu.

Un altre punt que sembla interessant destacar dels resultats obtinguts en aquest experiment és que l'augment de 5 a 10 individus seleccionats per a formar els subconjunts  $vt-5$  i  $vt-10$  no implica grans canvis en el nombre d'observacions atípiques en la part dels valors alts, al contrari del que ocorre amb els valors *outliers* de la part baixa dels gràfics. D'altra banda, es pot concloure que a partir de 30, i molt especialment de 50 individus, ja es pot aconseguir una mostra representativa del total de 222 individus. En la Figura 49 es pot veure com, malgrat que es manté el nombre d'observacions atípiques en la part alta dels gràfics de caixa i bigotis  $vt-5$  i  $vt-10$ , es redueix la seva dispersió en augmentar el nombre d'individus seleccionats per a formar els subconjunts, recorreguent un rang de valors  $vt$  més baix. Aquest fet és degut a que, com que s'introdueixen més valors entre els mateixos extrems, la variància es veu reduïda de manera significativa. Aquesta constatació és molt important en tant que explica un de les principals característiques que, des del punt de vista composicional, mostren les produccions amforals estudiades; i és que la variabilitat exhibida pels centres productors representa un continu de composicions, amb uns individus que delimiten els extrems dels grups químics, però que entre aquests extrems hi apareix tot un seguit de composicions amb una alta variabilitat que afecta els diferents elements. Això explica que, en certs casos, les diferències composicionals entre produccions de diferents tallers puguin ésser menors que les existents entre les produccions d'un mateix taller.

Un altre aspecte interessant que es desprèn de la Figura 49 és l'assimetria que mostren els bigotis en els casos de les submostres formades per 5 individus ( $vt-5$  i  $vt-5^*$ ). Ambdues distribucions presenten una certa assimetria vers els valors alts, la qual es redueix amb l'augment del nombre d'individus que formen els subconjunts generats aleatòriament. Aquest fet indica que, en el conjunt de les produccions, hi ha un gran nombre de grups químics diferents, la majoria dels quals estan representats per un nombre relativament baix d'individus. Com a conseqüència d'això, hi ha una alta probabilitat que, en la selecció aleatòria de 5 individus, quedin agrupades àmfores pertanyents a diferents fàbriques, el que provoca l'assimetria vers els valors més alts. Aquesta assimetria en els bigotis es redueixi en el cas de seleccionar 10 individus i, de

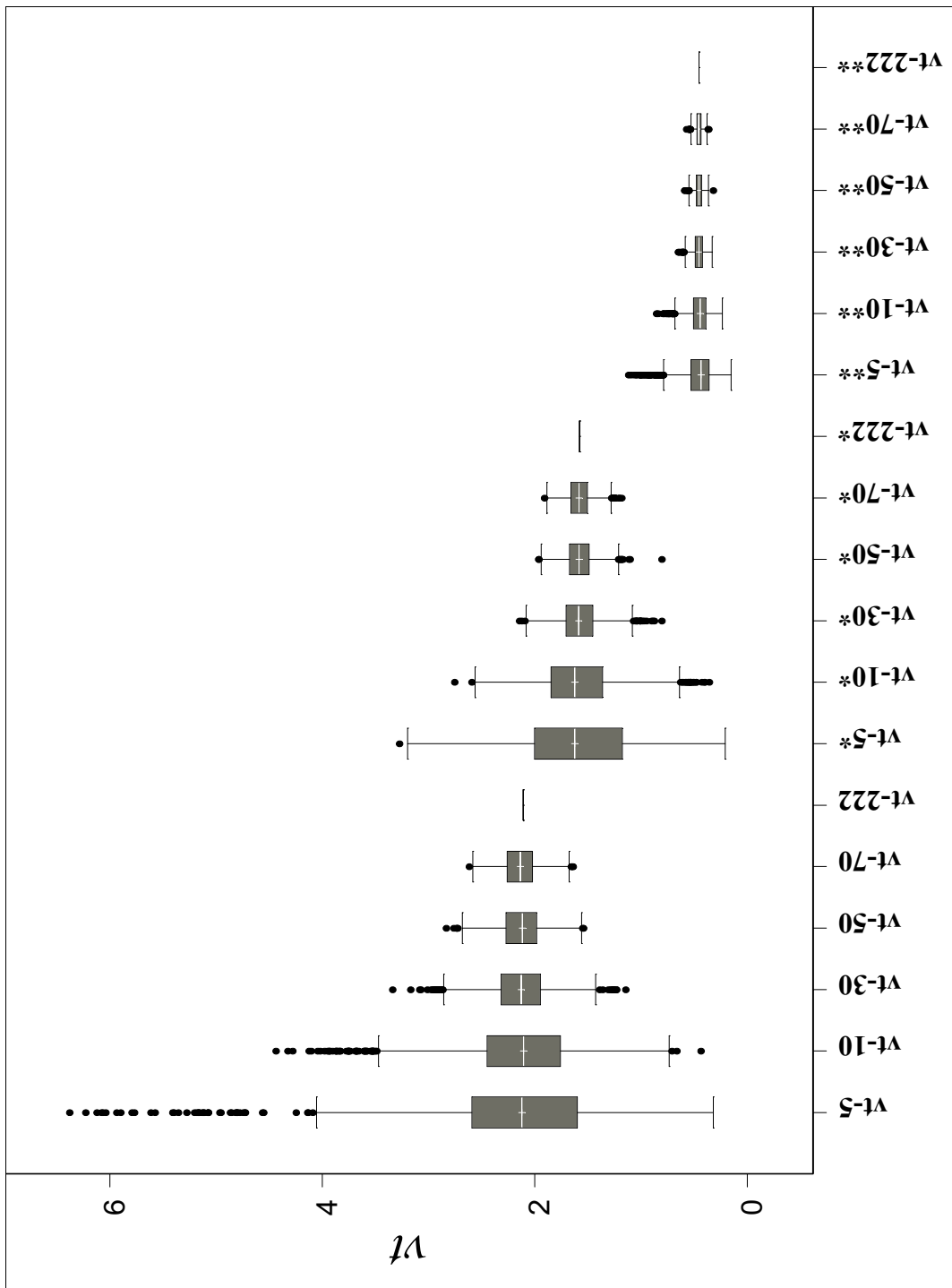
manera molt més marcada, en la selecció de 30, 50 i 70 individus, car la selecció aleatòria d'un nombre elevat d'individus (especialment  $>30$ ) té més probabilitats d'incloure un conjunt representatiu de tota l'estructura. El fet que aquestes característiques en la forma dels gràfics es mantenen un cop extrets els components  $P_2O_5$ , Pb i Cu, suggereix que l'assimetria, i les causes que l'expliquen, no són degudes a la variació exclusiva d'aquests components, sinó a factors més generals de la composició química d'aquestes produccions, com per exemple el caràcter poligènic.

Finalment, a partir dels gràfics de caixa i bigotis de la Figura 49 es desprèn també que les distribucions exhibeixen diferents graus de curtòsis, amb cues que es dirigeixen en ocasions vers els valors alts i en altres casos vers els valors baixos. Evidentment, les distribucions en les que es consideren els elements  $P_2O_5$ , Pb i Cu mostren cues asimètriques vers els valors alts, junt a la presència d'un gran nombre de valors *outliers*, deguts a la selecció d'algun individu amb continguts anormalment alts en aquests elements. Ara bé, un cop extrets aquests components desapareixen bona part dels valors *outliers* en totes les distribucions alhora que s'observa una assimetria vers els valors baixos, que afecta principalment al 50% dels valors centrals, és a dir, als valors recollits en les caixes. Aquest fet també suggereix que els grups químics existents en aquest conjunt de dades presenten una important dispersió en els valors dels components, i que hi ha un nombre important de grups representats per un nombre relativament baix d'individus. Cal considerar que el CaO és l'element que més variació aporta a tot el conjunt de dades, i el principal discriminant dels majors grups químics definits (A i B). Així mateix cal considerar que A té un major nombre d'individus que B. Per tant, en el remostreig aleatòri de 5 individus és més probable s'incloquin àmfores pertanyents al grup A —que presenten poca dispersió en els continguts en CaO— que del grup B —amb una gran dispersió en aquest component—, cosa que explica la forma que mostra la distribució  $\nu t-5^*$ , amb una moda principal al voltant del valor mig (1.5708) i una altre de subsidiària (al voltant de 0.60) (Figura 52). En aquest sentit és important remarcar que tots els subconjunts que donen una  $\nu t$  més baixa i que se situen al voltant d'aquesta moda subsidiària estan formats per individus del grup A.



**Figura 52.** Estimació de la funció de densitat de probabilitat mitjançant el mètode *kernel* de la distribució  $vt-5^*$ .

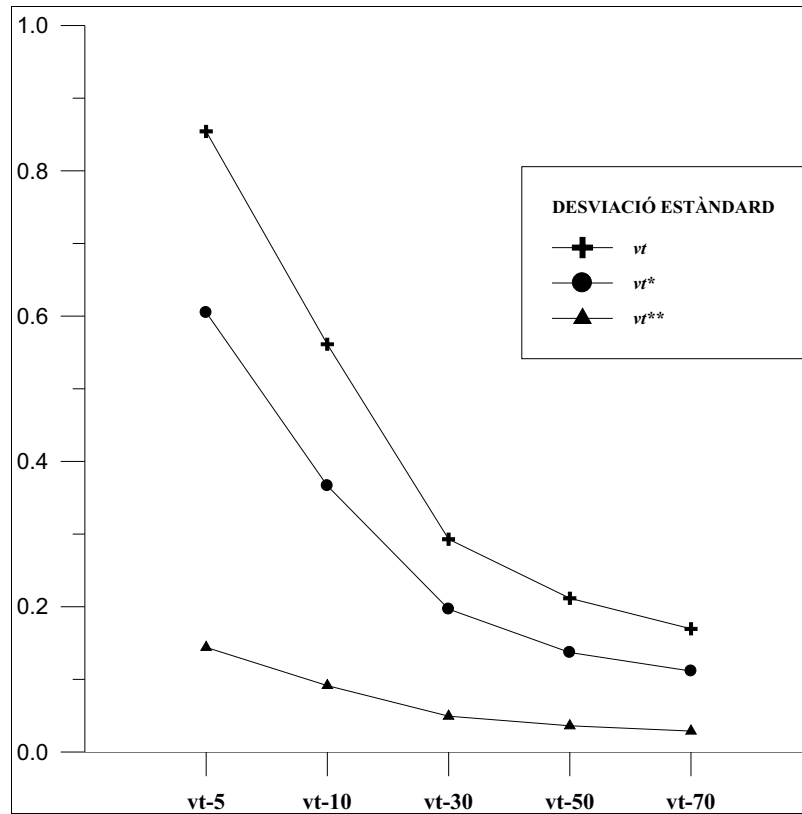
Finalment, per tal d'avaluar amb més detall la variació introduïda pel CaO hem repetit el procediment d'aquest experiment de remostreig aleatori I, excloent de la subcomposició química els elements CaO, així com els alcalinoterris associats Ba i Sr. En la Figura 53 han estat inclosos els gràfics de caixa i bigotis resultants d'aquest remostreig aleatori. En aquest cas, les etiquetes de les distribucions dels valors  $vt$  s'identifiquen amb dos asteriscs (\*\*). El primer aspecte que destaca a partir de l'anàlisi visual d'aquesta Figura 53 és la notable reducció en la  $vt$  del conjunt dels 222 individus amforals, que ara se situa en 0.45533. Els elements que més variabilitat aporten i que ara són els responsables de la major part dels valors *outliers* situats en la part alta de les distribucions són fonamentalment el Cr, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, MgO i Ni. La notable reducció de la  $vt$  de tot aquest conjunt amforal es manifesta clarament en la disminució de la dispersió de totes les distribucions generades aleatòriament (Taula 14, Annex 1).



**Figura 53.** Gràfics de caixa i bigotis dels resultats obtinguts en l'experiment de remostreig aleatori I. Les etiquetes (eix d'abscisses) sense asterisc representen els valors  $vt$  (eix d'ordenades) obtinguts en el càlcul de les MVC sobre la subcomposició  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $MnO$ ,  $P_2O_5$ ,  $TiO_2$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $SiO_2$ ,  $Ba$ ,  $Rb$ ,  $Nb$ ,  $Pb$ ,  $Zr$ ,  $Y$ ,  $Sr$ ,  $Ce$ ,  $Ga$ ,  $V$ ,  $Zn$ ,  $Cu$ ,  $Ni$  i  $Cr$ . Les etiquetes amb un asterisc (\*) representen els valors  $vt$  obtinguts en el càlcul de les MVC sobre la subcomposició anterior excloent-hi els components  $P_2O_5$ ,  $Pb$  i  $Cu$ . Les etiquetes amb dos asteriscs (\*\*) representen els valors  $vt$  obtinguts excloent-hi els components  $P_2O_5$ ,  $Pb$ ,  $Cu$ ,  $CaO$ ,  $Ba$  i  $Sr$ .

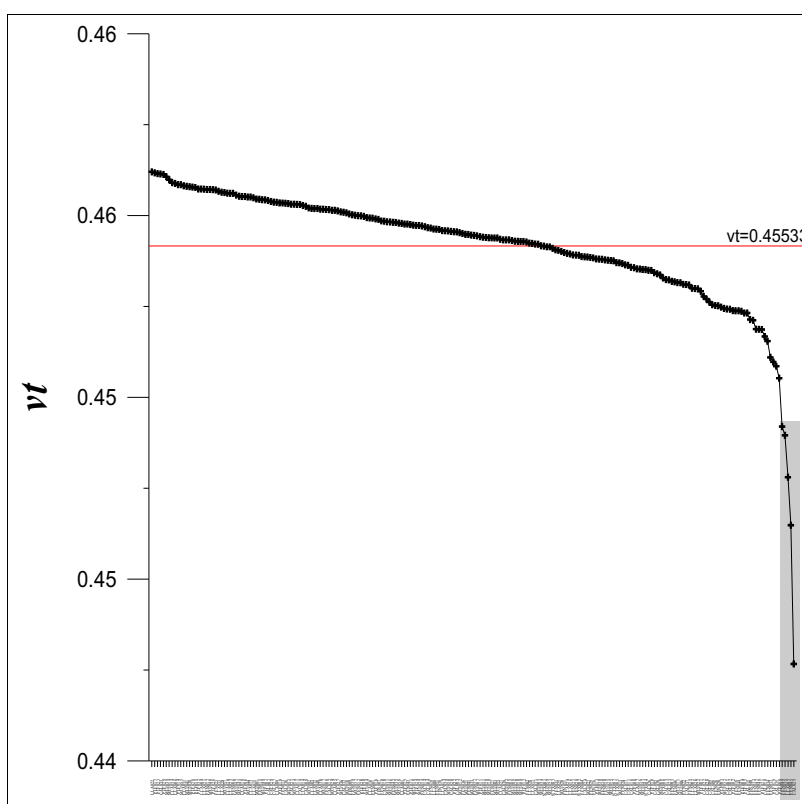
En el cas de la selecció aleatòria de 5 individus, la variació oscil·la entre 0.15141 i 1.11671, el que es correspon a un 33.25% i 245.25% per sota i per sobre del valor estimat per al conjunt de tots els individus, respectivament. Aquesta reducció es fa més evident a mesura que augmenta el nombre d'individus que formen els subconjunts seleccionats aleatòriament. Aquesta tendència pot ésser observada en el gràfic de la Figura 54. En aquest cas, hem fet servir la desviació estàndard de cada distribució resultant de l'experiment de remostreig aleatori I com a mesura de la dispersió dels valors  $v_i$ . Com queda palès a partir d'aquest gràfic, la dispersió és especialment baixa un cop exclosos els elements  $P_2O_5$ , Pb, Cu, CaO, Ba i Sr ( $v_i^{**}$ ). A més, és interessant remarcar que l'augment en el nombre dels individus que formen els subconjunts té un efecte menor en la dispersió de les distribucions, a diferència del que ocorre en el cas de considerar els 24 elements químics inicials ( $v_i$ ) o, fins i tot, en el cas d'excloure només els elements  $P_2O_5$ , Pb i Cu ( $v_i^*$ ).





**Figura 54.** Valors de desviació estàndard (eix d'ordenades) de cada distribució resultant de l'experiment de remostreig aleatori I (eix d'abscisses).

Un altre aspecte interessant a destacar és que, a conseqüència d'aquesta reducció en la dispersió dels valors  $vt$ , han desaparegut la pràctica totalitat dels valors *outliers* en la part baixa de les distribucions, a excepció d'un cas puntual en  $vt-50^{**}$  i dos en  $vt-70^{**}$ . A diferència d'això, les distribucions tornen a presentar assimetries vers els valors alts, així com diversos valors *outliers*, el que suggereix la presència d'algun individu amb diferències composicionals significatives respecte la resta que, evidentment, ja no poden ésser explicades per la variació dels components  $P_2O_5$ , Pb, Cu, CaO, Ba i Sr. Tanmateix, quan aquests individus passen a formar part d'un subconjunt generat aleatòriament, aquest dona com a resultat una  $vt$  relativament més alta, causant l'assimetria vers els valors alts. Per tal d'identificar aquests individus hem efectuat un nou remostreig mitjançant el procediment *jacknife*. Així, s'han tornat a calcular 222 noves MVC sobre la subcomposició inicial sense considerar els components  $P_2O_5$ , Pb, Cu, CaO, Ba i Sr, i exclouent en cada una d'elles un individu diferent del total de 222.



**Figura 55.** Valors  $vt$  (eix d'ordenades) obtinguts en el càlcul de 222 MVC exclouent successivament els individus indicats en les etiquetes (eix d'abscisses). La línia vermella horitzontal indica el valor  $vt$  dels 222 individus.

Els resultats d'aquest procediment es presenten en la Taula 16 (Annex 1) i queden resumits en el gràfic de la Figura 55.

És aparent a partir de la Figura 55 que són, especialment, 5 els individus —sobre fons gris— que imposen més variabilitat a tot el conjunt. És evident que l'individu CAL025 és el que aporta més variabilitat donat que la seva exclusió comporta la reducció més marcada de totes les  $vt$  calculades, situant-se en 0.44613, seguit pels individus FEN045, sense el qual la  $vt$  és de 0.44613, l'individu LLA007, sense el qual la  $vt$  és de 0.45024, l'individu FEN035, sense el qual la  $vt$  és de 0.45116, i l'individu FEN049, sense el qual la  $vt$  és de 0.45135 (Taula 16, Annex 1). Si s'examina amb detall la composició química d'aquests individus es pot observar com les diferències respecte la resta de les àmfores d'aquest conjunt afecta a diversos elements químics i que, a excepció feta de l'individu FEN035, podrien estar relacionades amb una provenença al·lòctona respecte el taller de procedència. Tanmateix, ara per ara no podem precisar a quin centre podrien afiliar-se. En qualsevol cas, és clar que la inclusió d'un (o més d'un) d'aquests individus en els subconjunts generats aleatòriament fa que la  $vt$  tendeixi cap els valors alts, el que resulta en els valors *outliers* (veure Taula 15, Annex 1) i en l'assimetria existent, especialment, en les distribucions  $vt-5^{**}$  i  $vt-10^{**}$ . Amb la selecció aleatòria d'un nombre major d'individus, la dispersió de les dades es redueix notablement, com queda demostrat en el gràfic de la Figura 54, en tant que augmenta la probabilitat de generar subconjunts que siguin més representatius, en termes de composició química, de l'estructura principal.

### 7.3.1.2 *Experiment de remostreig aleatori II*

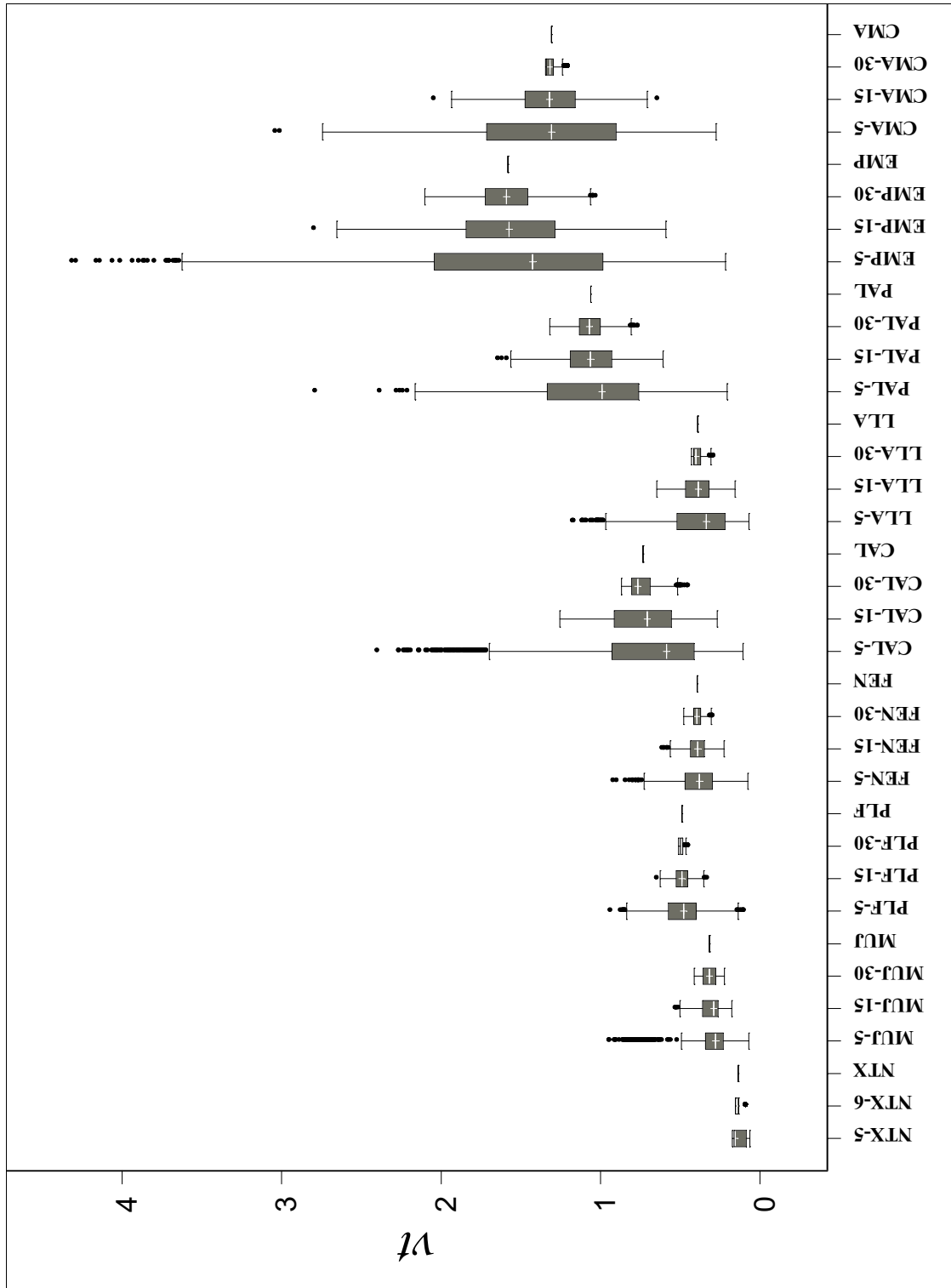
En aquest segon experiment de remostreig aleatori s'avaluarà la variabilitat exhibida per cada centre productor en particular. En aquesta ocasió, sobre el total d'individus que formen els conjunts mostrejats per a cada centre productor en estudi, s'han generat aleatòriament subconjunts formats per 5, 15 i 30 individus, i se n'ha calculat la MVC. Com en el cas anterior, aquesta operació s'ha repetit 2000 vegades per tal d'aconseguir un nombre representatiu de les combinacions possibles. L'única excepció feta és per al centre productor de Can Notxa. Evidentment, el nombre total d'individus que hem pogut mostrejar en aquest centre (7 individus) no permet reproduir el procediment

descriu. Malgrat això, i per tal de poder-ho incloure en aquest experiment, hem optat per efectuar el procediment de remostreig aleatori només sobre subconjunts de 5 i 6 individus. Conseqüentment, en aquest cas no és necessari repetir la selecció aleatòria 2000 vegades, en tant que el nombre reduït d'individus fa factible que siguin calculades les MVC de totes les combinacions possibles. Concretament, es tracta d'obtenir el resultat d'una combinació ordinària de 7 individus seleccionats, d'una banda, de 5 en 5 i, d'altra, de 6 en 6. Així, en cas de formar subconjunts de 5 individus sobre un total de 7, hi ha un total de 21 combinacions possibles, mentre que en cas de formar subconjunts de 6 individus, són 7 les combinacions possibles.

Així mateix, en aquest experiment han estat inclosos els conjunts amforals procedents dels tres centres receptors en estudi: les ciutats romanes d'*Iluro*, *Emporiae* i *Palma*. D'aquesta manera pretenem comparar, no sols les variabilitats exhibides pels centres productors, sinó també les dels centres receptors, per als quals és d'esperar, *a priori*, una major variació en tant que és més probable que siguin conjunts formats per àmfores de diferents proveniences. En la Taula 17 (Annex 1) es presenten els resultats de l'anàlisi de FRX i el càlcul de la PAF dels conjunts procedents d'*Iluro*, *Emporiae* i *Palma*.

En tots els casos, les MVC s'han calculat sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Y}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Ce}$ ,  $\text{Ga}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Ni}$  i  $\text{Cr}$ . Per tant, queden exclosos els components  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Pb}$  i  $\text{Cu}$ , part de la variabilitat dels quals es pot relacionar amb processos d'alteració i contaminació que, com ja hem vist, afecten puntualment a diversos individus procedents dels centres productors.

Els resultats obtinguts en aquest experiment queden il·lustrats amb els gràfics de caixa i bigotis de la Figura 56. Les distribucions dels valors  $v_i$  dels subconjunts formats per 5, 15 i 30 individus apareixen etiquetades en l'eix de les abscisses de la següent manera: en primer lloc apareix la sigla que identifica el centre  $i$ , separat per un guió, el nombre d'individus que formen els subconjunts seleccionats aleatòriament. La  $v_i$  calculada sobre el total d'individus  $i$ , per tant, assumida com a representativa del conjunt apareix indicada amb una línia horitzontal i etiquetada només amb la sigla del centre. En la Taula 18 (Annex 1) es presenta un resum estadístic dels resultats obtinguts en aquest experiment de remostreig aleatori.



**Figura 56.** Gràfics de caixa i bigotis dels resultats obtinguts en l'experiment de remostreig aleatori II. Les etiquetes (eix d'abscisses) identifiquen la distribució dels 2000 valors  $v_i$  (eix d'ordenades) obtinguts a partir de la selecció aleatòria d' $I_c$  sobre el total de cada centre. **NTX**=Can Notxa (n=7); **MUJ**=El Mujal (n=60); **PLF**=C/ de Guillem de Palafolls (n=32); **FEN**=Fenals (n=51); **CAL**=Collet de Sant Antoni de Calonge (n=38); **LLA**=Llafranc (n=34); **PAL**=Iluro (n=48); **EMP**=Emporiae (n=47); **CMA**=Palma (n=31).

És evident a partir de la Figura 56 que la  $vt$  dels centres receptors és considerablement superior a la dels centres productors. El conjunt amforal que mostra una major  $vt$  és el procedent de la ciutat romana d'*Emporiae* (1.57996), seguit pel conjunt de *Palma* (1.30702), mentre que la  $vt$  més baixa, pel que fa als centres receptors, correspon al conjunt procedent d'*Iluro* (1.06110). Aquestes diferències suggereixen un qüestió interessant respecte la distribució i el consum d'aquests envasos, en tant que podrien estar indicant que els conjunts amforals procedents d'*Emporiae* i de *Palma* estarien formats per una diversitat de produccions major que el conjunt procedent d'*Iluro*.

Si això fos així, seria d'esperar que els conjunts amforals procedents de *Palma* i *Emporiae* estiguessin formats per un nombre de grups químics major que el conjunt d'*Iluro* o, si més no, que els seus grups químics mostressin majors diferències composicionals entre sí. Els resultats obtinguts en el remostreig aleatori semblen corroborar aquesta possibilitat. Si ens fixem en els gràfics de caixa i bigotis dels centres receptors es pot observar com en la selecció aleatòria de 5 individus hi ha més dispersió en el cas de *Palma* i, molt especialment, en el cas d'*Emporiae*, que no pas en el cas d'*Iluro*. En la distribució CMA-5 els valors  $vt$  varien entre 0.27561 i 3.03299, el que es correspon a un 21.09% per sota de la  $vt$  de tot el conjunt (1.30702) i a un 232.05% per sobre d'aquest valor. En el cas d'EMP-5 la variació és encara major, amb un valor mínim de 0.21575 i un valor màxim de 4.30709, o el que és el mateix, amb una oscil·lació entre un 13.65%, per sota, i un 272.61%, per sobre de la  $vt$  de tot conjunt. D'altra banda, la distribució PAL-5 mostra una dispersió relativament menor, amb una variació entre 0.20516 i 2.78389, és a dir, entre un 19.33% i un 262.36% per sota i per sobre, respectivament, de la  $vt$  assumida per a tot el conjunt (Taula 18, Annex 1). Aquests resultats donarien suport a la possibilitat que els conjunts procedents dels centres receptors de *Palma* i, molt especialment, d'*Emporiae* representessin diversos grups químics amb diferències composicionals entre sí majors a les del conjunt d'*Iluro*. En aquest sentit, un altre factor d'interès és la forma que mostren els gràfics de caixa i bigotis. En la selecció aleatòria de subconjunts formats per 5 individus, la distribució dels valors  $vt$  mostra una clara assimetria vers els valors més alts en els tres centres receptors. Això suposa que durant el calcul de les MVC dels 2000 subconjunts formats

per 5 individus hi ha molts casos en què la  $vt$  és molt superior a la mitjana d'aquest valor (Taula 18, Annex 1). Aquest fet podria ésser atribuïble a importants diferències composicionals entre els grups químics que formen els conjunts dels centres receptors i, per tant, quan són seleccionats 5 individus a l'atzar és molt probable que pertanyin a diferents grups químics, el que es traduiria en una  $vt$  alta, especialment en cas que l'estructura química de tot el conjunt es caracteritzés per una multiplicitat de grups formats per un nombre relativament baix d'individus. Igualment, és interessant observar com, en els tres centres receptors, amb l'augment del nombre d'individus que formen els subconjunts, es redueix aquesta assimetria. Aquesta tendència és d'esperar en tant que amb l'augment d'individus augmenta també la probabilitat que els subconjunts siguin més representatius de tota l'estructura. Ara bé, cal remarcar que es manté una dispersió considerable en la distribució dels valors  $vt$  dels subconjunts formats per 15 individus d'*Emporiae*, molt especialment si es compara amb el cas d'*Iluro*. Certament, la distribució EMP-15 presenta uns valors que oscil·len entre 0.59018 i 2.79007, mentre que els valors de PAL-15 varien entre 0.60756 i 1.6363. En la Taula 18 (Annex 1) podem veure com aquesta variació, en termes de desviació estàndard, és més del doble en el cas d'*Emporiae*. Aquesta diferència es manté pràcticament idèntica en el cas que els subconjunts estiguin formats per 30 individus. El cas de *Palma* mostra una situació diferent. La distribució CMA-30 presenta una clara asimetria vers els valors més baixos perquè el conjunt total està format per 31 individus. Per tant, el que estem reproduïnt, en realitat, és un procediment de remostreig *jackknife* en què hi ha sols 31 combinacions possibles de subconjunts diferents formats per 30 individus. En qualsevol cas, un aspecte interessant a remarcar d'aquesta distribució és la presència de tres valors *outliers* en la part baixa de la distribució. En aquest cas concret, això significa que hi ha, com a mínim, tres individus amb diferències composicionals significatives respecte la resta d'àmfores del conjunt.

Arribats a aquest punt, una informació addicional que resultaria especialment rellevant seria la de poder identificar quins són concretament els individus que aporten major variabilitat als conjunts procedents dels tres centres receptors. D'aquesta manera es facilitarà la recerca detallada de les causes d'aquesta variabilitat imposada. Com ja hem fet en el cas de l'experiment de remostreig aleatori I, per tal d'identificar fàcilment

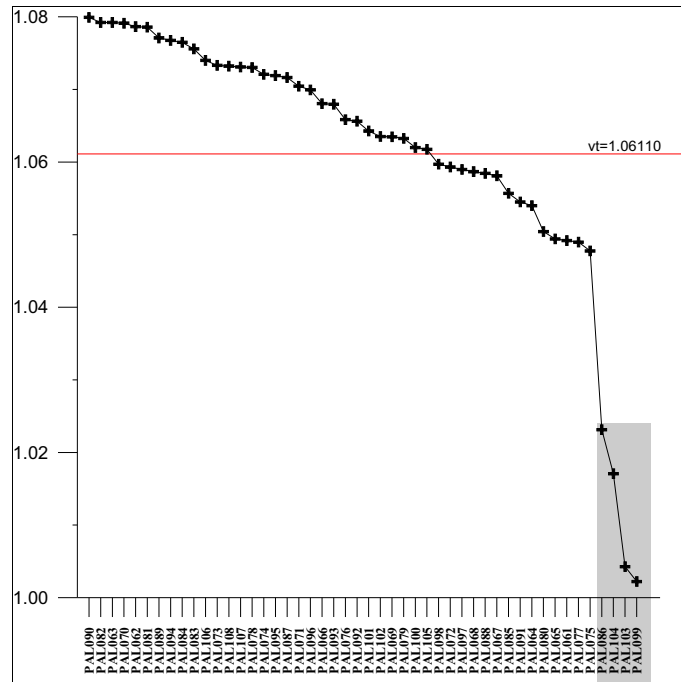
aquests individus realitzarem un remostreig seguint el procediment *jackknife* mitjançant el qual es calculen tantes MVC com individus hi ha en tot el conjunt, excloent-ne successivament un en cada càlcul. A més a més, els resultats obtinguts amb aquest procediment ens haurien d'ajudar a corroborar la possibilitat que els conjunts procedents d'*Emporiae* i, aparentment en menor mesura, el de *Palma* estiguin formats per una diversitat de produccions major que el conjunt procedent d'*Iluro*. Si assumim que la *vt* dels conjunts pot ésser relacionada amb la diversitat de produccions —des del punt de vista tecnològic i/o de provinença—, de manera que a major diversitat major serà la variació química del conjunt, la dispersió dels valors obtinguts mitjançant el procediment *jackknife* hauria d'ésser major en el cas d'*Emporiae* que en el cas d'*Iluro*, mentre que el conjunt de *Palma* hauria quedar en una situació intermitja. Així, com majors siguin les similituds composicionals entre els individus, majors haurien d'ésser les semblances en la seva aportació a la *vt* del conjunt. En conseqüència, una major diversitat de produccions —en termes tecnològics i/o de provinença— s'hauria de reflectir amb una major dispersió dels valors *vt* obtinguts en l'exclusió successiva d'un individu diferent en el càlcul de MVC. Ara bé, convé remarcar que, òbviament, no es pot assumir la relació contrària, és a dir, que a partir d'una aportació similar a la *vt* del conjunt no es pot deduir l'existència de similituds —ni de provinença ni de característiques tècniques— entre els individus.

En les Figures 57, 58 i 59 queden il·lustrats els resultats obtinguts en el remostreig seguint el mètode *jackknife* sobre els conjunts dels centres receptors d'*Iluro*, *Emporiae* i *Palma*, respectivament. Els resultats obtinguts es presenten en les Taules 19, 20 i 21 (Annex 1). En el cas d'*Iluro* és pot observar que hi ha especialment quatre individus —sobre fons gris— que són els reponsables d'aportar una major variabilitat química a tot el conjunt. D'aquests són concretament els individus Dressel 1 PAL099 i l'Oberaden 74 PAL103 els que aporten una major variabilitat. També és clar a partir de la Figura 57 que la seva respectiva aportació a la variabilitat de tot el conjunt és molt similar i, alhora, superior a la dels altres dos individus, PAL104 i PAL086, ambdós corresponents al tipus Pascual 1. Aquests quatre individus mostren importants diferències composicionals entre ells i amb la resta d'individus d'aquest conjunt, les quals afecten pràcticament a tots els elements, cosa que podria suggerir una provinença diferent a la

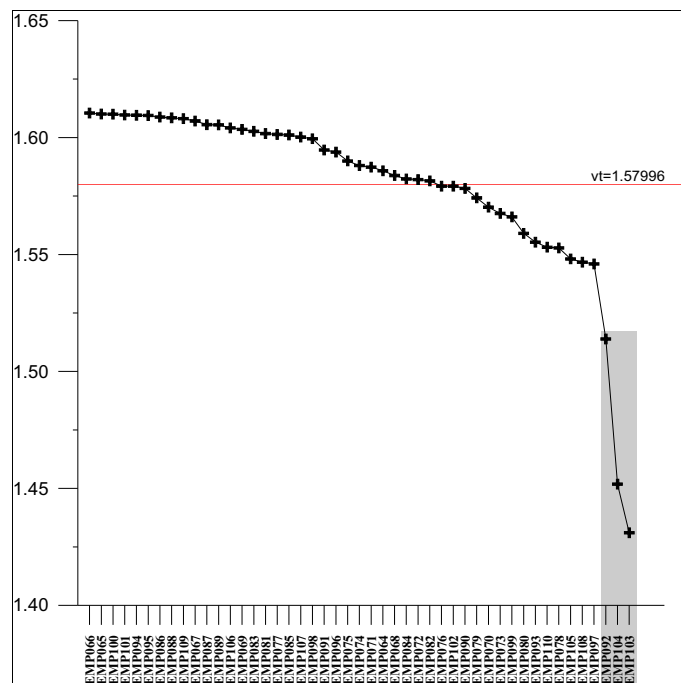


de la resta dels individus. La seva possible filiació amb una pasta identificada en algun dels centres productors caracteritzats serà tractada en capítols posteriors. En qualsevol cas, ara convé assenyalar que, aparentment, hi ha certes diferències pel que fa a la tecnologia de producció d'aquestes àmfores. D'una banda, els dos individus Pascual 1, PAL086 i PAL104, així com l'individu Dressel 1, PAL099, es caracteritzen per unes concentracions relativament altes en CaO (17.33%, 13.63%, 13.51%, en dades normalitzades, respectivament), mentre que l'individu Oberaden 74 PAL103 mostra un contingut propi de ceràmiques poc calcàries (3.47%, en dades normalitzades). D'altra banda, tanmateix, l'estudi dels difractogrames dels quatre individus mostra unes temperatures de cocció equivalent (TCE) molt similars en tots els casos, en el rang 950-1000°C.

En el cas d'*Emporiae*, els individus que clarament aporten una major variació química a tot conjunt corresponen a tres àmfores Pascual 1, EMP103, EMP104 i EMP092. Com en el cas anterior, les diferències composicionals d'aquests individus respecte de la resta afecten a diversos elements i sembla plausible pel moment atribuir-les a diferents províncies, per bé que entre els individus EMP103 i EMP104 existeixen certes similituds composicionals. En aquest cas, les diferències més marcades són degudes a unes concentracions relativament altes en CaO (12.51% en EMP092, 19.33% en EMP103, 17.79% en EMP104, en dades normalitzades) i, sobre tot, als continguts relativament alts en MgO en els tres individus (5.86% en EMP092, 5.54% en EMP103, 7.35% en EMP104, en dades normalitzades).



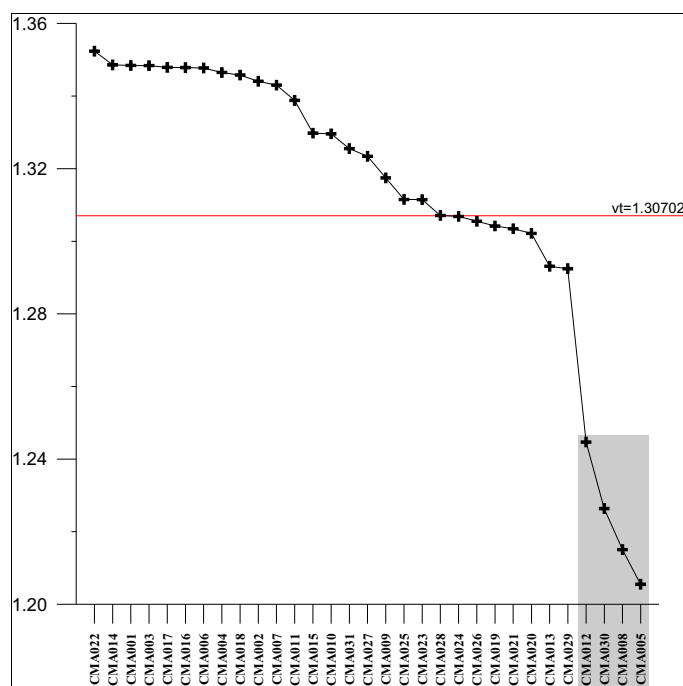
**Figura 57.** Valors  $vt$  (eix d'ordenades) obtinguts en el càlcul de 48 MVC exclouent successivament els individus indicats en les etiquetes (eix d'abscisses). La línia vermella horitzontal indica el valor  $vt$  dels 48 individus d'*Ithuro*.



**Figura 58.** Valors  $vt$  (eix d'ordenades) obtinguts en el càlcul de 47 MVC exclouent successivament els individus indicats en les etiquetes (eix d'abscisses). La línia vermella horitzontal indica el valor  $vt$  dels 47 individus d'*Emporiae*.

De manera similar, en el conjunt de *Palma* hi ha quatre individus que aporten especialment una alta variabilitat a tot el conjunt, degut també a diferències globals en les composicions. Aquests individus són concretament les Dressel 1 CMA005, CMA008 i CMA012, i l'individu Pascual 1 CMA030. Aquí cal remarcar també l'existència d'importants diferències en el contingut de CaO. Els individus CMA005, CMA008 i CMA030 mostren uns continguts propis de pastes poc calcàries (1.13%, 1.51%, 1.73%, en dades normalitzades, respectivament), mentre que l'individu Dressel 1 CMA012 presenta uns continguts relativament alts tant en CaO com en MgO (11.99% i 4.79%, en dades normalitzades, respectivament). En aquesta ocasió hi tornen a haver diferències en les TCE que mereixen ésser esmentades. En els tres individus Dressel 1, l'estudi dels difractogrames permet estimar una TCE entre 850-950°C, essent superior per a l'individu Pascual 1 CMA030, entre 950-1000°C.

Finalment, un dels aspectes més interessants que es desprenen d'aquests remostreigs és que sembla corroborar-se la possibilitat d'una major diversitat de produccions en el conjunt d'*Emporiae* que en el d'*Iluro*, quedant el conjunt de *Palma* en una situació intermitja. Malgrat l'aparent similitud en l'aparença dels tres gràfics (Figures 57, 58 i 59), la dispersió és notablement superior en el cas d'*Emporiae*. Així, si prenem el rang com a mesura de dispersió de les dades, podem observar com en el cas del conjunt d'*Emporiae*, els valors  $v_t$  recorren un rang de 0.18, essent lleugerament inferior en el cas de *Palma* (0.14) i, notablement inferior en el cas d'*Iluro* (0.08).



**Figura 59.** Valors  $v_t$  (eix d'ordenades) obtinguts en el càlcul de 31 MVC exclouent successivament els individus indicats en les etiquetes (eix d'abscisses). La línia vermella horitzontal indica el valor  $v_t$  dels 31 individus de Palma.

Si tornem als gràfics de caixa i bigotis de la Figura 56, i centrem ara l'atenció en els centres productors, podem observar com la imatge general és la d'una variabilitat química menor a la dels centres receptors. De tots els centres productors, el conjunt que mostra una major  $v_t$  és el procedent del Collet de Sant Antoni de Calonge (0.73495) (Taula 18, Annex 1). De fet, crida l'atenció que el rang recorregut pels valors dels subconjunts formats per 5 individus (CAL-5) és molt similar al recorregut en el cas del centre receptor d'Iluro (PAL-5), a excepció del valor *outlier* situat en l'extrem superior d'aquesta darrera distribució (Taula 18, Annex 1). Aquesta dispersió relativament àmplia que s'observa, especialment, en totes les distribucions formades pels subconjunts de 5 i 15 individus revela un aspecte important a tenir present en la caracterització d'aquests tipus de produccions ceràmiques caracteritzades per una baixa homogeneïtat química i, conseqüentment, per variabilitats relativament altes: la

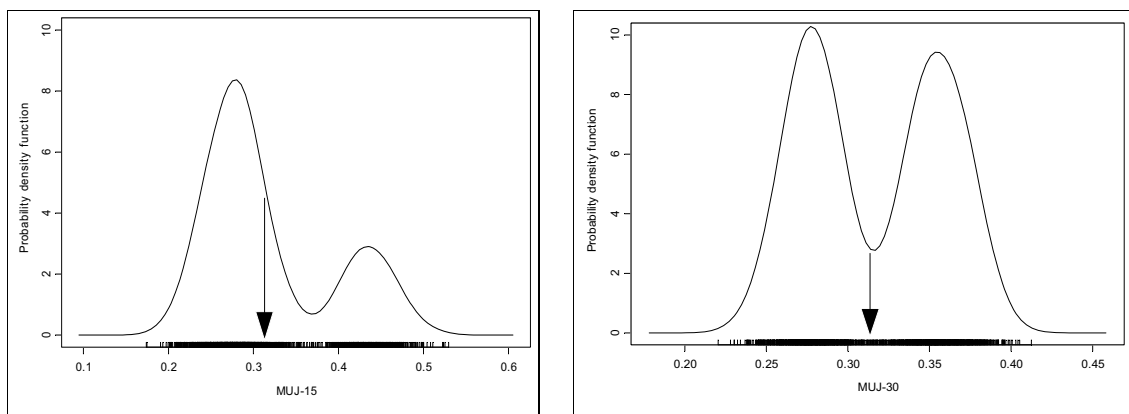
sensibilitat de la  $vt$  com a mesura de quantificació de la variabilitat química a la mida de la mostra analitzada. Així, si assumim que els conjunts mostrejats són representatius de la variabilitat existent en la població original, en el cas concret de Calonge, per exemple, si s'haguessin seleccionat només 5 individus per a representar aquest centre, la variació podria situar-se entre un 14.55% i un 324.22% respecte la  $vt$  assumida com a representativa del centre, reduint-se entre un 36.31% i un 170.18% en cas d'augmentar la mostra a 15 individus, i entre un 60.21% i un 117.74% en cas de seleccionar-ne 30. Aquest exemple il·lustra clarament la importància d'analitzar el major nombre de mostres possibles per tal d'aconseguir una caracterització acurada d'aquest tipus de tecnologia ceràmica, molt especialment alhora d'establir els grups de referència química per a cada producció identificada en els centres productors.

Els gràfics de caixa i bigotis de Calonge, tot i palesar una variabilitat superior a la resta dels centres productors considerats, presenten certes similituds formals, especialment respecte el cas de Llafranc. En els dos casos existeix una asimetria en favor dels valors més alts en els gràfics corresponents a subconjunts de 5 i 15 individus, mentre que aquesta assimetria augmenta lleugerament en favor dels valors més baixos en cas de considerar 30 individus, on es constaten també alguns valors *outliers*. En el cas de Llafranc, aquest fet es pot atribuir a les importants diferències composicionals entre els grups químics i a la desproporció existent en el nombre d'individus que formen cada grup, així com per la presència d'un individu, molt probablement d'origen al·lòcton (LLA007), que imposa una alta variabilitat a tot el conjunt (Vila *et al.* 2005; 2006). En conseqüència, donat que la forma dels gràfics de caixa i bigotis pot indicar la proporció dels individus que formen els grups químics existents dins d'un conjunt de dades, és d'esperar que, a grans trets, el conjunt de Calonge presenti una estructura similar a la de Llafranc. Aquesta possibilitat serà corroborada en el següent capítol, on es tractaran amb detall les característiques composicionals de cada centre en particular i es definiran els grups de referència.

Si centrem l'atenció en els centres dels quals procedeixen la pràctica totalitat d'individus produïts a partir de pastes poc calcàries, destaca la gran quantitat de valors *outliers* presents, especialment, en la distribució MUJ-5, així com l'assimetria que, en MUJ-15, tendeix vers els valors baixos. Aquestes característiques, com ja hem vist amb

anteioritat, podrien suggerir la presència d'algun individu amb diferències composicionals especialment marcades respecte la resta.

Efectivament, una anàlisi més detallada de la composició química de tot el conjunt mostra la presència d'un sol individu (MUJ011) amb uns continguts en CaO anormalment alts per a aquest conjunt. Mentre que la mitjana d'aquest component en aquest conjunt és d' $1.30 \pm 0.23$  (en dades normalitzades), l'individu MUJ011 presenta una concentració de 5.48%, és a dir, de més de quatre desviacions estàndard. Precisament, és la selecció d'aquest individu el que explica els valors *outliers* tant en MUJ-5 com en MUJ-15, així com l'assimetria en aquesta darrera distribució. Donat que en una selecció aleatòria de 15 individus, sobre un total de 60, és més probable que aquest individu en concret no sigui seleccionat, el que resulta en uns valors *vt* més baixos, el resultat és una assimetria vers el valors baixos. Contràriament, si el subconjunt seleccionat està format per 30 individus, és a dir, la meitat del total, la probabilitat que sigui seleccionat és pràcticament la mateixa que no ho sigui. En la figura 60 s'il·lustren aquestes dues tendències, apreciand-se la influència que pot tenir un sol individu en la *vt* de tot el conjunt.



**Figura 60.** Estimació de la funció de densitat de probabilitat mitjançant el mètode *kernel* de la distribució dels valors *vt* dels subconjunts de 15 i 30 individus seleccionats aleatòriament. La línia negra indica el valor *vt* de tot el conjunt (0.31698).

En relació a aquesta darrera observació cal afegir que, si bé existeixen altres conjunts on també hi ha un individu amb diferències composicionals significatives respecte la resta del conjunt, aquests no es manifesten de la mateixa manera en la distribució dels subconjunts formats per 15 i 30 individus, la qual cosa s'explica perquè les diferències composicionals entre els grups químics són menys marcades en el cas d'El Mujal que en la resta de centres productors considerats. De manera més específica cal remarcar que, en aquest cas concret de l'individu MUJ011, el contingut de CaO és, a escala logarítmica, un 400% de la mitjana.

El conjunt procedent de Can Notxa representa, com ja hem dit, una excepció a causa del baix nombre d'individus que el formen. Certament, representa la *vt* més baixa de tots els conjunts considerats fins el moment, per bé que el baix nombre d'individus analitzats fa que els resultats obtinguts només es puguin considerar com una fase preliminar de la caracterització de les possibles produccions d'aquest centre. En qualsevol cas, els resultats del remostreig aleatori estan d'acord amb els obtinguts en l'anàlisi de conglomerats. Es pot veure una marcada assimetria vers els valors baixos en NTX-5, la qual desapareix en NTX-6 i apareix un valor extrem considerat *outlier*. Aquestes formes dels gràfics s'expliquen per les diferències composicionals, fonamentalment de CaO, que mostra un individu (NTX002) l'absència del qual en la formació dels subconjunts provoca l'assimetria i el valor *outlier* en la zona dels valors *vt* més baixos.

Arribats a aquest punt volem afegir com a informació addicional obtinguda en aquest experiment de remostreig aleatori la identificació dels individus que conformen els subconjunts amb valors *vt* extrems. Si, com ja hem discutit anteriorment, la major part d'aquestes produccions es caracteritzen per grups químics formats per un nombre relativament baix d'individus, així com per una homogeneïtat química relativament baixa, sembla procedent identificar quin és el subconjunt de 5 individus amb més semblances composicionals de cada centre, en tant que és més probable que representin una producció a partir d'una mateixa pasta (Taula 22, Annex 1). Aquesta possibilitat serà, en tot cas, corroborada mitjançant l'anàlisi estadística de cada conjunt en particular que s'efectuarà en el capítol següent.

Finalment, hem considerat interessant comparar la variabilitat exhibida per les

diverses produccions amforals amb les d'una altra tecnologia ceràmica d'època romana que també acostuma a ésser freqüent en els estrats datats del canvi d'Era: la *terra sigillata*. En aquesta ocasió hem aplicat el mateix procediment descrit per a l'experiment de remostreig aleatori II sobre dos conjunts de *terra sigillata* recuperats en les ciutats romanes de *Baetulo* (Badalona), *Emporiae* (Empúries) i *Tarraco* (Tarragona), i per als quals s'han establert diferents proveniències (Madrid i Fernández 2005)<sup>32</sup>. El primer conjunt considerat està format per un total de 94 individus de *terra sigillata itàlica* (TSI) d'una cronologia de finals de segle I aC i per al qual s'ha establert una proveniència d'Arezzo, el centre productor de TSI més antic que es coneix. El segon conjunt està format per 74 individus de *terra sigillata hispanica* (TSH), al qual se li ha atribuït una proveniència del complex de *Tritivm Magallvm* (Tricio) i una cronologia d'època flàvia.

En la Figura 61 es presenten els gràfics de caixa i bigotis d'aquests dos conjunts junt als dels centres productors i receptors d'àmfores. En la Taula 23 (Annex 1) han estat afegides les dades resultants de l'experiment de remostreig aleatori sobre aquests conjunts.

La imatge general obtinguda amb la Figura 61 és prou il·lustrativa de les diferents variabilitats composicionals que, en termes generals, caracteritzen ambdues tecnologies. Queda ben palès com les dues produccions considerades de TSH i TSI es caracteritzen per unes *vt* menors a les exhibides per qualsevol dels conjunts amforals en estudi. A més, convé emfatitzar que tot i ser els conjunts formats per un major nombre d'individus, són els que mostren una dispersió clarament menor en totes les distribucions. Les *vt* exhibides pels conjunts tant de TSH com de TSI són molt similars (0.13575 i 0.12778, respectivament) i poden ésser interpretades com el resultat d'un procés de producció molt estandarditzat (Madrid 2005). Com a resultat, aquestes produccions es caracteritzen per uns grups químics ben definits, a diferència del que ocorre amb el cas de les àmfores on la tendència general sembla reflectir una baixa estandardització en la recepta de la pasta emprada en la confecció de les peces. Centrem-nos en primer lloc en el cas de Tricio. Aquest conjunt representa una vaixel·la

---

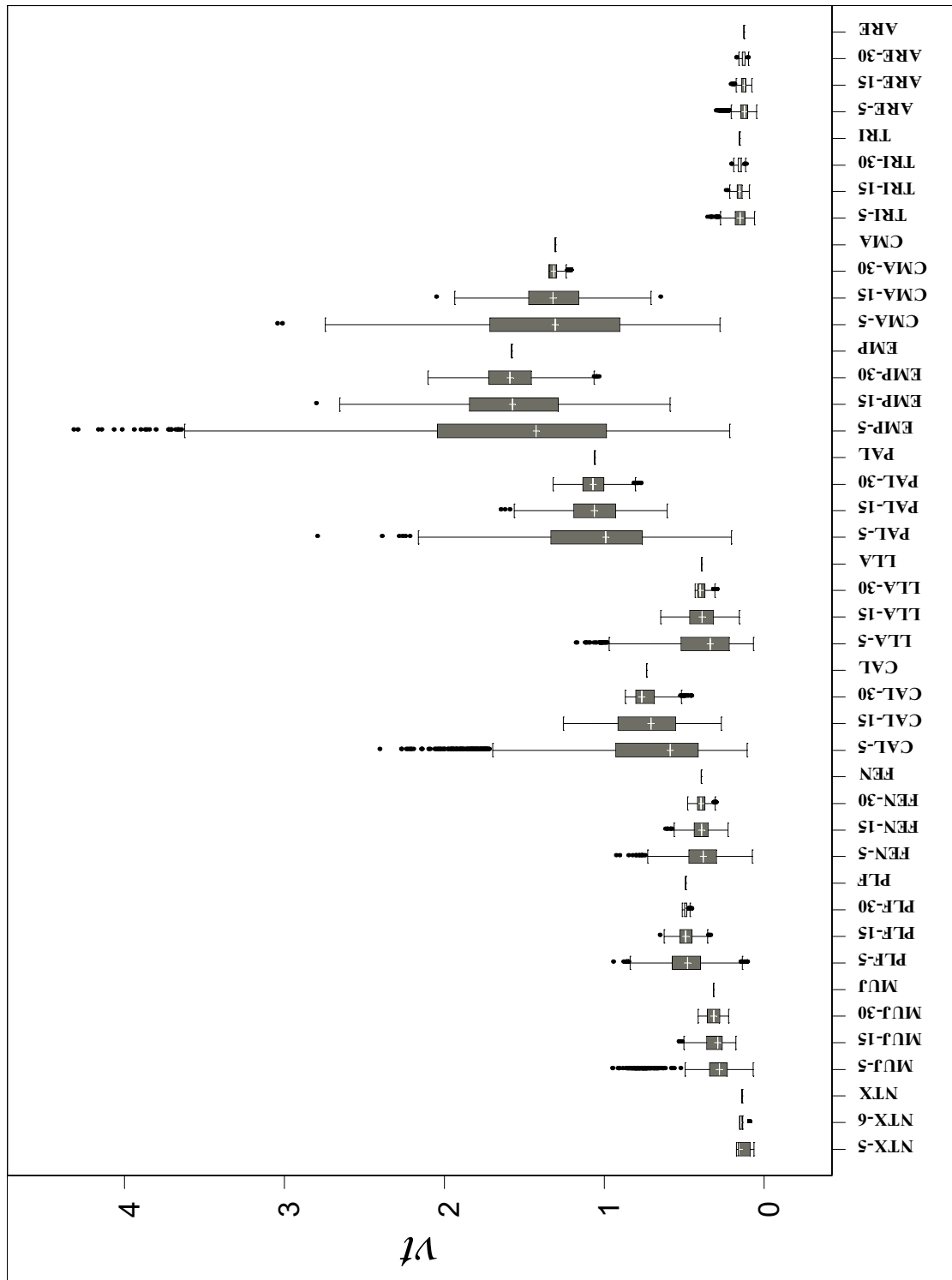
<sup>32</sup> Ambdós conjunts han estat analitzats per FRX amb les mateixes condicions analítiques descrites en l'apartat 5.2.



de bona qualitat, format per ceràmiques calcàries, amb uns continguts relativament alts en  $K_2O$ , i amb unes TCE que, en la majoria d'individus, se situen entre 950-1000°C (Madrid 2005: 375-392). A partir dels resultats del remostreig aleatori d'individus podem veure com la distribució TRI-5 dona una variació d'entre 39.67% i 224.28%, per sota i per sobre, respectivament, de la  $\nu t$  de tot el conjunt de 74 individus, el que es correspon a un rang recorregut en l'eix d'ordenades de només 0.28383. Aquest valor és clarament inferior a qualsevol dels obtinguts a partir dels subconjunts procedents dels centres productors d'àmfores<sup>33</sup> i il·lustra clarament l'elevat grau d'homogeneïtat química de tot el conjunt.

---

<sup>33</sup> A excepció de la distribució NTX-5 de Can Notxa, a causa de les peculiaritats esmentades més a dalt.



**Figura 61.** Gràfics de caixa i bigotis dels resultats obtinguts en l'experiment de remostreig aleatori II. Les etiquetes (eix d'abscisses) identifiquen la distribució dels 2000 valors  $vt$  (eix d'ordenades) obtinguts a partir de la selecció aleatòria d'Ic sobre el total de cada centre. **NTX**=Can Notxa (n=7); **MUJ**=El Mujal (n=60); **PLF**=C/ de Guillem de Palafolls (n=32); **FEN**=Fenals (n=51); **CAL**=Collet de Sant Antoni de Calonge (n=38); **LLA**=Llafranc (n=34); **PAL**=Iluro (n=48); **EMP**=Emporiae (n=47); **CMA**=Palma (n=31); **TRI**=Tricio (n=74); **ARE**=Arezzo (n=94).

Malgrat aquesta baixa variació, és interessant observar també que hi ha fins a un total de 25 valors *outliers* en la part superior d'aquesta distribució, els quals són deguts a l'existència d'un doble procés d'alteració i contaminació que afecta directament als components químics  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  i Rb, i que ha estat identificat, amb diferent intensitats, fins en un total de fins a 36 individus (Madrid 2005: 387-388). És precisament la inclusió (i la no inclusió) d'aquests individus el que també explica, d'una banda, la presència dels valors *outliers* en les parts superiors de TRI-15 i TRI-30, i, d'altra, en la part inferior de TRI-30. És a dir, que fins i tot amb l'existència de processos d'alteració i contaminació en un nombre important d'individus, és fa evident una variació química menor en aquest conjunt de TSH que en la resta de conjunts amforals.

Per la seva banda, el conjunt d'Arezzo mostra una *vt* encara menor (0.12778). Igualment, el rang recorregut pels valors *vt* de totes les distribucions (ARE-5, ARE-15, ARE-30) és encara més baix que el que presentaven les distribucions de Tricio. Tot i això, cal puntualitzar que en aquest conjunt també han estat identificats diversos processos de contaminació que afectarien als continguts en CaO (Madrid 2005: 292-303). Com en el cas anterior, aquests individus són els responsables de l'aparició dels valors *outliers* en totes les distribucions dels subconjunts d'Arezzo. A excepció d'això, com també succeeix amb el conjunt de Tricio, cal destacar una considerable simetria en aquestes distribucions, amb uns valors tant de mitjana aritmètica com de mediana coincidents i molt propers a la *vt* de tot el conjunt. Totes aquestes característiques són indicatives, en definitiva, de l'existència d'un gran grup d'individus amb una homogeneïtat química relativament alta com a resultat, en bona mesura, d'un procés tecnològic de fabricació en què semblen mantenir-se força estables les receptes de les pastes emprades en la confecció de les ceràmiques. Així, en termes de variabilitat química, els conjunts analitzats d'àmfores mostren una imatge completament diferent, amb unes variabilitats relativament més altes, però sobretot, amb uns grups químics que es defineixen d'una manera molt menys clara, a conseqüència d'un procés de preparació i manteniment de les receptes de pasta molt menys estandarditzat, emmarcat en un procés de producció en massa.

És molt probable que tant els factors de situació en els quals tenen lloc els processos de producció, distribució i consum, així com la cadena de comportament en

què s'inscriuen aquestes dues tecnologies expliquin bona part d'aquestes diferències. Certament, el mercat potencial per a ambdós productes és de dimensions aparentments diferents.

La *terra sigillata* és un producte produït amb un valor propi, en el sentit que el seu valor en el mercat és inherent. A diferència d'això, les àmfores no compten amb aquest valor inherent, sinó que és lògic pensar que és el seu contingut el producte que finalment fixa un determinat preu. Junt a això convé tenir present, a més, el fet que l'expectativa normal que s'espera d'un envàs de transport és, en qualsevol cas, molt menor a la que s'hauria d'esperar de qualsevol peça d'un servei de vaixella. I també són diferents les activitats i els contextos en els quals es produeixen les exhibicions d'aquestes tecnologies, malgrat que ambdues operen efectivament com a part del discurs simbòlic de l'Imperi romà. Així, les àmfores, a diferència del que succeeix, per exemple, amb la vaixella de taula, podrien ésser considerades com un exemple clar de tecnologia subsidiària i que, per tant, no representarien l'objecte sobre el qual s'hauria centrat l'atenció del consum en el mercat. Aquesta conjunció de factors permet suggerir que les altes variabilitats observades en les produccions amforals podrien deure's, en bona mesura, a un procés de producció en què l'estandardització d'una recepta de pasta no seria quelcom indispensable, ans al contrari, podria haver resultat contraproductent en un context en el qual els beneficis econòmics no derivarien directament de la transacció d'aquests envasos. En aquest sentit, resulta evident que la reducció dels costos de producció es tradueix, en la gran majoria de casos, en un augment de beneficis. Per tant, aquest comportament també seria lògicament esperable en la producció no sols també de la *sigillata*, sinó en qualsevol altre tipus de tecnologia o servei que prengui part de les transaccions de qualsevol mercat<sup>34</sup>. Ara bé, el que sembla desprendre's dels resultats discutits fins el moment, és que, en el cas de les àmfores, aquesta hauria estat una estratègia completament necessària per al desenvolupament d'aquesta activitat econòmica que representà la producció i distribució de vi durant el període baix-republicà i alto-imperial. En aquest context, sembla poder-se deduir que hi hauria un intent per a aconseguir un compromís entre la necessitat de minimitzar la inversió necessària per a la producció d'una àmfora i obtenir un envàs amb un mínim de qualitat

---

<sup>34</sup> Veure la discussió exposada al llarg de l'apartat 2.3

tècnica, capaç de suportar les severes condicions de transport. Per tot això considerem que seran les característiques tecnològiques d'aquestes produccions les que permetran acabar de definir aquest model que se comença a perfilar sobre la producció amforal romana durant el canvi d'Era.

### 7.3.2 Estructura de la variació composicional

Junt a la  $vt$ , un altre element d'interès que s'obté en el càlcul de la MVC és la traça de la matriu de variàncies-covariàncies de les dades transformades en logaritmes de raons emprant un element com a divisor. Les columnes de la MVC contenen les variàncies resultants de la transformació en logaritmes de raó de cada element, disposat en les files de la MVC, emprant com a divisor l'element que apareix en la part superior de les respectives columnes. La suma de les variàncies de cada columna està representada per  $\tau_i$ , mentre que la suma de tots els valors  $\tau_i$  dividits per dues vegades el nombre d'elements proporciona la  $vt$ . Així, mitjançant el valor  $vt/\tau_i$  es pot estimar quina és l'aportació de cada element a la variació total, de manera que quan més baix sigui aquest valor major és la variabilitat química imposada per aquest element en concret<sup>35</sup>. Per tant, aquests valors proporcionen la informació necessària per tal d'investigar l'origen de la variabilitat en cada centre en particular  $i$ , consegüentment, per estudiar les diferències i similituds que puguin presentar en les seves estructures de variació corresponents (Barone *et al.* 2005). Concretament, entenem per estructura de variació composicional, el patró que un conjunt de dades mostra en la variabilitat que imposen cada un dels elements considerats.

Així, l'estudi de l'estructura de variació composicional ens permetrà conèixer, d'una banda, quin tipus de relació existeix entre els patrons de variació exhibits pels diferents conjunts analitzats  $i$ , d'altra, si l'estructura de variació es manté estable amb els canvis en el disseny de les àmfores o si, per contra, els canvis de disseny formal comporten una estructura de variació diferent, poguent-se identificar quins són els elements químics implicats.

En el fons d'aquesta anàlisi s'hi assenta l'assumpció segons la qual diferents conjunts d'eleccions tècniques conjugades per a la producció d'una tecnologia ceràmica

---

<sup>35</sup> Veure apartat 5.8.2.

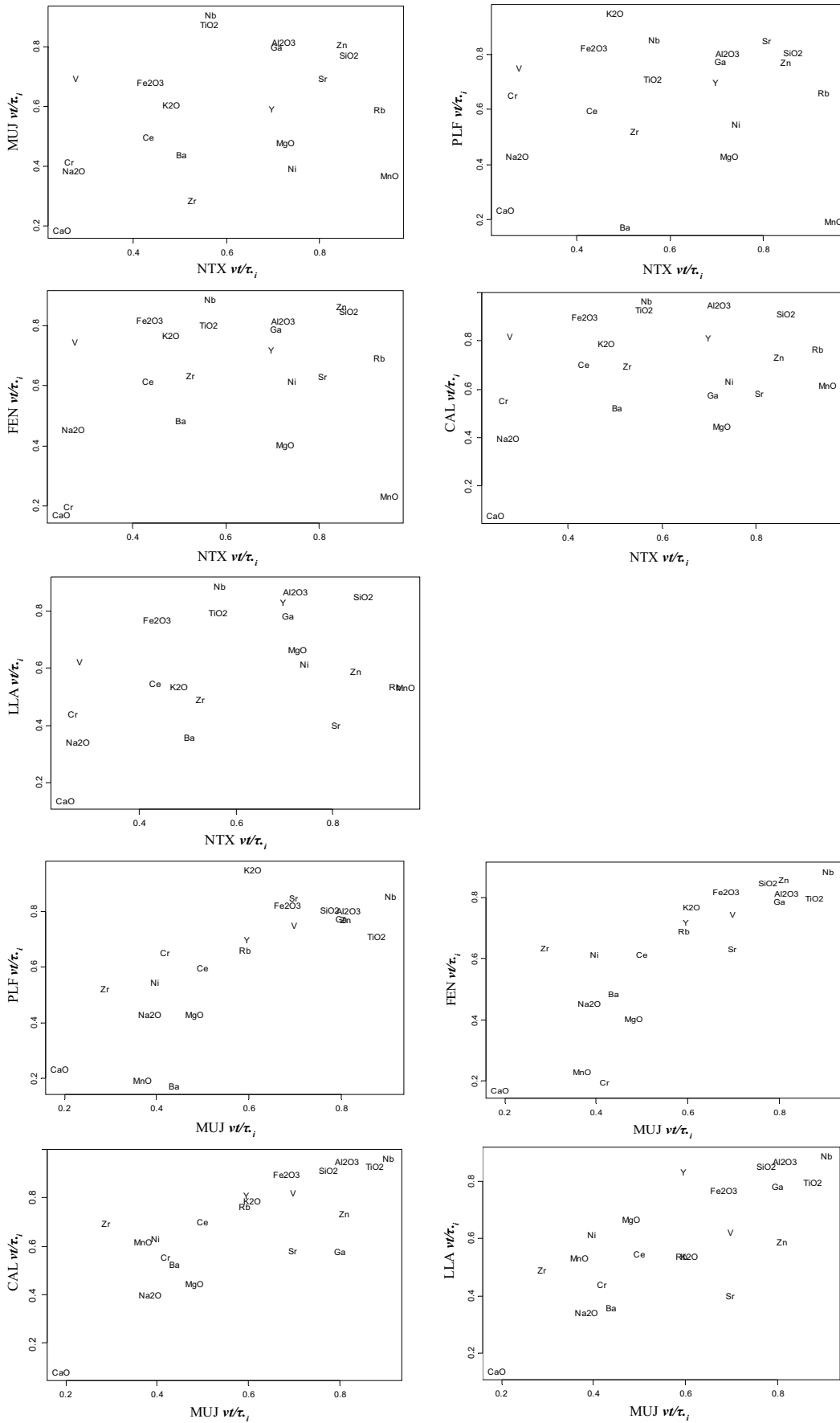
haurien de reflectir, en la majoria dels casos, un patró de variació similar: dos processos anàlegs de preparació de pasta mantindran constants els mateixos elements. De manera inversa, diferències en el processament i preparació d'una pasta hauria de resultar en diferents patrons de variació composicional en tant que és menys probable que es mantingui constant la variació dels mateixos elements. Tanmateix, convé remarcar que el que es manifesta aquí és una part de la conducta subjacent en el procés de preparació de les pastes i no de les seves característiques tècniques ni les dels productes finals. Així doncs, assumim que quan més semblants i constants siguin els processos de preparació de les pastes majors haurien d'ésser les semblances entre els respectius patrons de variació composicional.

L'estructura de variació exhibida pels conjunts dels centres productors ha estat comparada mitjançant diagrames de correlació dels valors  $v/\tau_i$  (Figura 62). Així, a partir de les assumpcions assumides, com majors siguin les similituds entre dues estructures de variació, major hauria d'ésser la tendència vers una correlació lineal positiva en el diagrama resultant. En la Taula 24 (Annex 1) apareixen els coeficients de correlació lineal producte-moment de Pearson per a cada parell de conjunt de dades. Els valors  $v/\tau_i$  s'han obtingut en el càlcul de la MVC de cada conjunt amforal sobre la subcomposició Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, TiO<sub>2</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr.

Es pot observar com en els diagrames de correlació de la Figura 62, el component que més variació imposa en tots els conjunts dels centres productors és el CaO (a excepció feta del conjunt del C/ de Guillem de Palafolls on els elements MnO i Ba mostren variacions lleugerament majors que semblen ser el resultat de contaminacions puntuals), com així ho indica la seva situació en l'extrem inferior esquerra dels diagrames.

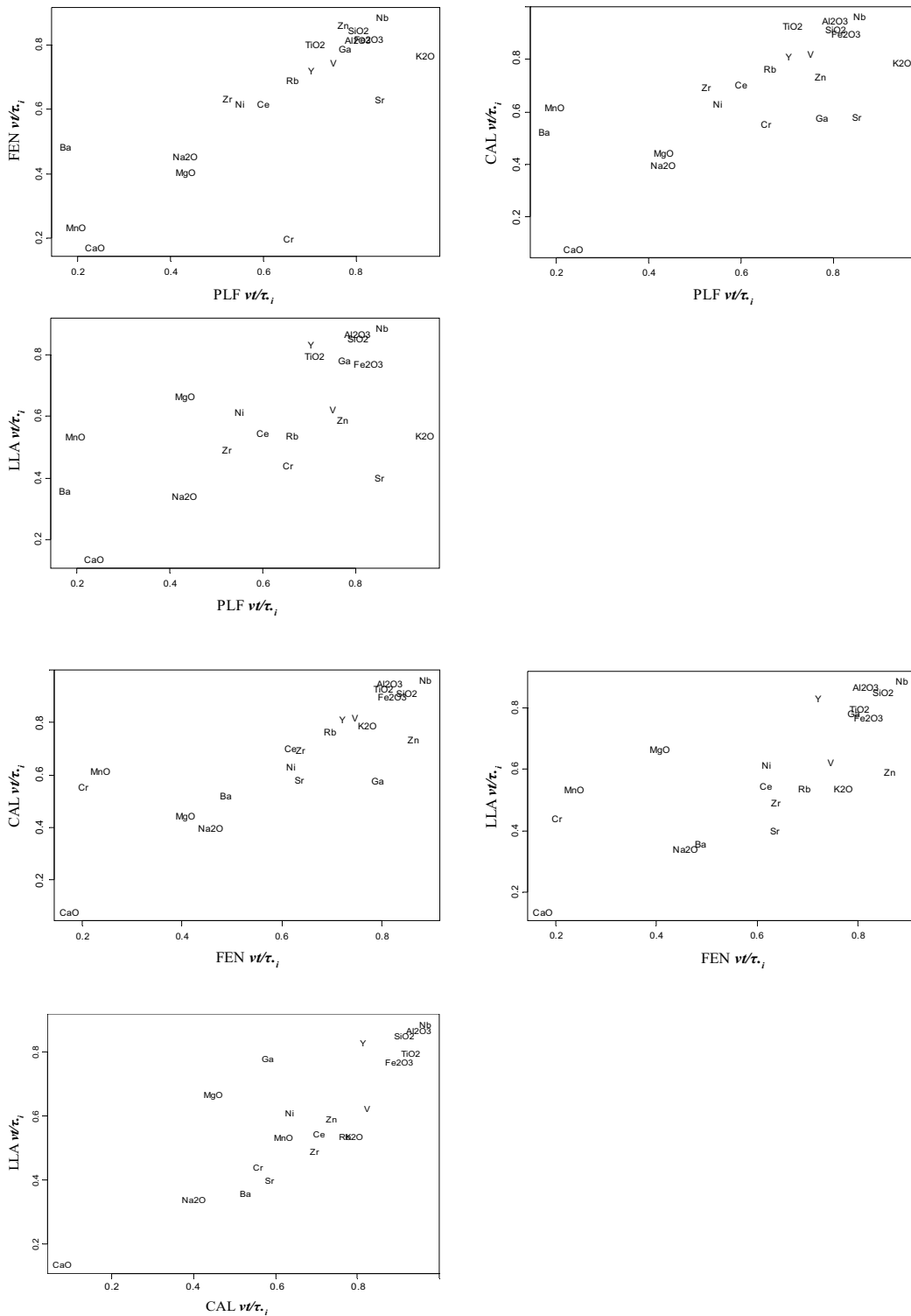
A partir de la discussió exposada fins el moment, això era d'esperar en el cas de les àmfores que formen part de l'agrupació B, de ceràmiques calcàries, doncs les distribucions de CaO en aquestes produccions es caracteritzen per una dispersió considerable, a diferència del que ocorre amb les produccions poc calcàries del grup A (com queda ben il·lustrat, per exemple, en Figura 42). Així doncs, aquests gràfics mostren que, independentment de que es tracti de produccions calcàries (grup B) o

produccions poc calcàries (grup A), el CaO és l'element que imposa una major variabilitat en tots els conjunts dels centres productors. En qualsevol cas, convé puntualitzar que part d'aquesta variabilitat també podria deure's a diversos processos de contaminació, com exposarem en el capítol següent en tractar cada centre productor de manera més detallada.



**Figura 62.** Diagrames de correlació dels valors  $wt/\tau_i$  dels centres productors de Can Notxa (NTX), El Mujal, (MUJ), C/ de Guillem de Palafolls (PLF), Fenals (FEN), Collet de Sant Antoni de Calonge (CAL) i Llafranc (LLA).





**Figura 62 (continuació).** Diagrames de correlació dels valors  $v/\tau_i$  dels centres productors de Can Notxa (NTX), El Mujal, (MUJ), C/ de Guillem de Palafolls (PLF), Fenals (FEN), Collet de Sant Antoni de Calonge (CAL) i Llafranc (LLA).

En l'altre extrem, els elements que menys varien en tots els conjunts són, en termes generals, el  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Nb,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i  $\text{TiO}_2$ , situats en la majoria de casos en la part superior dreta dels diagrames. Per tant, podem afirmar que els elements que es mantenen més constants en la preparació de les pastes són els relacionats amb la fase argilosa, com seria el cas clarament dels elements  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i  $\text{TiO}_2$ , així com amb la fase de desgredador, format fonamentalment per inclusions de quars, i per tant per  $\text{SiO}_2$ .

En relació als coeficients de correlació lineal producte-moment de Pearson (Taula 24, Annex 1), i com queda ben il·lustrat en els cinc primers diagrames de la Figura 62, els valors més baixos són els associats amb el centre productor de Can Notxa. Això indica que, en cap cas, l'estructura de variació de les set àmfores analitzades d'aquest centre mostra similituds significatives, en termes de correlació lineal dels valors  $v/\tau_i$ , amb els altres conjunts analitzats. No obstant, la interpretació d'aquest comportament ha d'ésser prudent. Com ha quedat demostrat en l'experiment de remostreig aleatori II, el nombre d'individus que formen els conjunts analitzats és un factor especialment sensible en la caracterització química d'aquestes produccions. Per tant, el baix nombre d'individus que han pogut ésser caracteritzats procedents d'aquest centre no permet altra cosa que una primera anàlisi exploratòria de les característiques d'aquest taller sense que, en aquest sentit, es puguin platenjar inferències mínimament concloents. Ara bé, també és interessant observar que, en cas de repetir el mateix procediment de creació dels diagrames de correlació de tots els centres productors, però ara amb els valors  $v/\tau_i$  resultants d'una MVC sobre un subconjunt aleatori de només set individus —els mateixos que representen Can Notxa—, l'estructura de variació és manté molt similar a l'exhibida respectivament per la totalitat dels conjunts.

Deixant de banda aquest centre, els diagrames associats a la resta de centres productors mostren uns coeficients de correlació clarament superiors. És interessant observar que els valors més alts, per tendència general, són associats a centres productors que pertanyen a un dels dos grans grups químics etiquetats com A i B. Així, els valors més alts d'El Mujal són els associats, fonamentalment, amb el centre de Fenals (0.8309) i, en menor mesura, amb el centre del C/ Guillem de Palafolls (0.7775), mentre que els valors associats als centres del Collet de Sant Antoni de Calonge i

Llafranc són lleugerament inferiors (0.7529 i 0.7663, respectivament). Tanmateix, és important tenir present que en aquestes estructures de variació s'estan considerant elements, part de la variació dels quals podria ésser deguda a diferents processos d'alteració i/o contaminació puntual. Aquest seria el cas, per exemple, dels elements del MnO i Ba, sobre els quals hi ha certs indicis que fan plausible la hipòtesis d'una contaminació que hauria afectat puntualment diversos individus tant d'El Mujal com, especialment, del C/ de Guillem de Palafolls, com exposarem amb detall en el capítol següent. De fet, sense considerar aquests dos elements, el coeficient de correlació entre aquests dos centres augmenta fins a un 0.8126.

El valor més alt correspon al parell format pels centres d'El Mujal i Fenals (0.8309). Com es pot observar en el corresponent diagrama de correlació, els continguts de Zr és relativament estable en el conjunt de Fenals, a diferència del que ocorre amb el conjunt d'El Mujal, en el qual és l'element que aporta més variabilitat, després del CaO, en tant que discrimina, tot i que de manera aproximada, les produccions de Pascual 1 de les de Laietana 1/Tarraconense 1. Una situació similar ocorre amb l'element Ni. D'altra banda, sembla clar que el Cr és més variable en el conjunt de Fenals que en el d'El Mujal, per bé que l'explicació d'aquesta variabilitat és de més difícil interpretació. En qualsevol cas, el coeficient de variació, en cas de no considerar aquests tres elements, augmenta fins a 0.9214, un valor molt proper a 1, que representa la correlació lineal directa. D'altra banda, els coeficients de correlació que presenta El Mujal amb els centres que pertanyen al grup B de ceràmiques calcàries (Calonge i Llafranc) indiquen també l'existència d'una similitud relativament remarcable en les estructures de variació composicional.

Si centrem l'atenció en els coeficients de correlació del conjunt del C/ de Guillem de Palafolls veurem com els valors més alts també corresponen a l'associació amb els altres centres del mateix grup A, El Mujal i Fenals (0.7775 i 0.7879, respectivament), mentre que l'associació amb els conjunts de Calonge i Llafranc resulta en uns valors inferiors (0.7016 i 0.6068, respectivament). D'aquests gràfics, destaca la correlació existent entre els conjunts del C/ de Guillem de Palafolls i de Fenals. És més, si es deixen de banda els valors imposats pel Ba, el qual mostra una variabilitat molt major en el cas del conjunt del C/ de Guillem de Palafolls a causa, en bona part, de les

contaminacions ja esmentades, així com els valors del Cr, d'alta variabilitat dins el conjunt de Fenals on la majoria d'individus presenten concentracions elevades, i d'Sr i  $K_2O$ , lleugerament més variables a Fenals, el coeficient de variació augmenta significativament fins a un valor de 0.9802, indicant una clara tendència de correlació lineal directa.

En el cas de Fenals, a més, cal destacar que, a diferència dels altres centres del grup A, l'estructura de variació mostra importants similituds amb els centres que pertanyen al grup B, molt especialment amb Calonge. L'associació amb aquest centre dóna un coeficient de 0.8104, tot i les altes variabilitats imposades pel Cr i el MnO en el conjunt de Fenals. Sense considerar aquests elements, el coeficient de variació augmenta fins a un 0.92.

Finalment, pel que respecte els centres del grup B, Calonge i Llafranc, s'observa una tendència similar, és a dir, que l'estructures de variació d'aquests centres són, en general, més similar entre elles que amb les de la majoria dels centres del grup A, a excepció de la ja esmentada associació entre Calonge i Fenals. Així, les estructures de variació de Calonge i Llafranc mostren una correlació relativament alta (0.8197), tot i les importants diferències en la variabilitat del MgO i el Ga, superiors en el conjunt de Calonge, en tant que discriminen les dues grans agrupacions d'aquest centre (CAL-1\* i CAL-2\*). Sense aquests components, el coeficient de correlació entre aquests conjunts augmenta significativament fins 0.9255.

En definitiva, la comparació de les estructures de variació composicional dels centres productors suggereix les següents conclusions:

- 1) En termes generals, l'element que mostra més variabilitat és el CaO, mentre que els mostren menys variació són el  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , Nb,  $Fe_2O_3$  i  $TiO_2$ . Així, tant l'element més variable com els més estables en la preparació de les pastes són components que potencialment tenen implicacions tecnològiques de primer ordre. En aquest sentit, destaquen especialment les diferències tecnològiques que hi ha entre pastes poc calcàries i calcàries i, d'altra banda, les implicacions del  $SiO_2$ , provinent en una part important de la fase de desgreixador de quars, en les propietats mecàniques de les àmfores. Aquestes implicacions seran tractades en

els següents apartats.

- 2) A excepció de Can Notxa, la resta de centres mostren una relativa similitud en l'estructura de variació composicional dels respectius conjunts, essent especialment marcada entre els tallers que pertanyen a un dels grans grups químics definits (A i B).

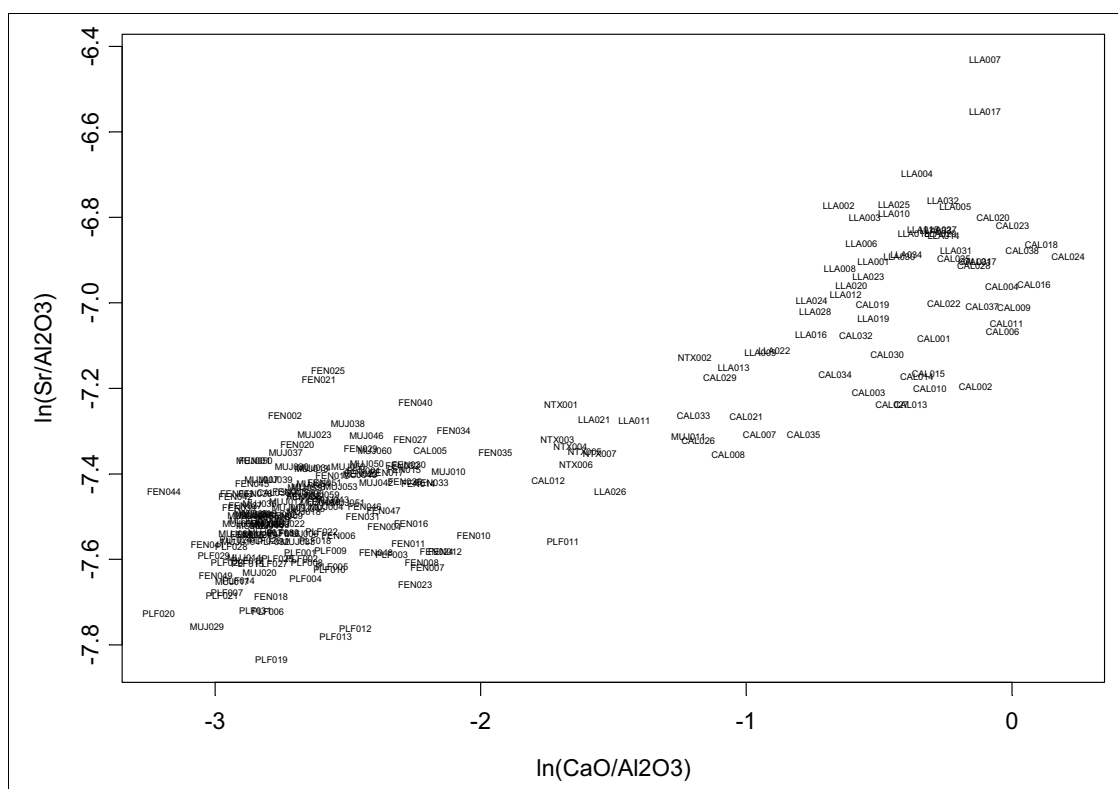
#### **7.4 *Característiques tecnològiques***

Entenem les característiques tecnològiques com una funció de tres factors: les eleccions tècniques preses durant el procés de producció, les propietats físiques de la matèria amb què està feta l'artefacte, i les competències amb les que compta al llarg de la cadena conductual. Les eleccions tècniques són el conjunt de pràctiques que tenen lloc —consicent o inconscientment— durant tot el procés de manufactura de l'artefacte, i que determinen les propietats materials o físiques de l'artefacte. Les competències d'una determinada tecnologia es defineixen com el conjunt de capacitats que li permeten participar d'interaccions específiques. Per tant, les competències, tot i estar condicionades per les eleccions tècniques i per les propietats d'una matèria determinada, no poden ésser considerats com a atributs propis d'un artefacte, sinó que depenen de les activitats en el context de les quals han d'ésser, finalment, considerades i avaluades.

La nostra metodologia en l'estudi del canvi tecnològic contempla la caracterització de les propietats materials o físiques de les ceràmiques, a partir de les quals seran inferides les eleccions tècniques preses durant el procés de producció. En aquest apartat, s'estableix, així, una primera aproximació a les característiques tecnològiques de les produccions amforals a partir de l'estudi de: les característiques composicionals de les ceràmiques, discutint els aspectes més rellevants que, des del punt de vista tecnològic, s'han esmentat en la discussió sobre la caracterització química; les temperatures de cocció equivalent (TCE) a les quals s'estimen que foren cuites les àmfores; la mida i freqüència aparent de les inclusions no plàstiques presents a la matriu ceràmica; i, finalment, el mòdul de ruptura (MOR) o resistència a la ruptura transversal de la ceràmica. L'avaluació de les competències tècniques que es consideren més rellevants per a l'estudi de les àmfores serà presentada en el Capítol 9.

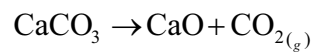
### 7.4.1 Característiques composicionals

El tractament estadístic de les dades químiques dels individus recuperats en els sis centres productors indica que les principals diferències composicionals entre els conjunts analitzats són degudes, fonamentalment, a diferents concentracions relatives en CaO, el que reflecteix l'existència de diverses tecnologies ceràmiques, amb produccions poc calcàries i produccions calcàries —i altament calcàries. En la Figura 63 es pot observar aquesta divisió, amb dos grans grups clarament diferenciats en funció dels continguts relatius en CaO, amb els individus poc calcàris situats a l'esquerra del gràfic i els calcàris a la dreta, així com un petit nombre d'individus que se situen en el límit entre aquestes dues agrupacions. La divisió entre ceràmiques poc calcàries ( $\text{CaO} < 5\text{-}6\%$ ) i ceràmiques calcàries ( $\text{CaO} > 5\text{-}6\%$ ) representa una de les categories més importants en quant a tecnologia ceràmica. Però, quines són les diferències més rellevants entre aquestes dues tecnologies?



**Figura 63.** Gràfic bivariant dels valors  $\ln(\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ , en absccisses, i  $\ln(\text{Sr}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ , en ordedandes, dels 222 individus procedents dels centres productors de Can Notxa (NTX), El Mujal (MUJ), C/ de Guillem de Palafolls (PLF), Fenals (FEN), Collet de Sant Antoni de Calonge (CAL) i Llafranc (LLA).

Els continguts alts en calci d'una pasta poden deure's bé a la seva presència de manera natural en la mateixa argila base, bé ésser un component afegit com a desgreixador de calcita o aragonita. En qualsevol cas, aquest component apareix de manera significativa en forma de carbonat de calci ( $\text{CaCO}_3$ ), el qual es descompon segons:



Generalment, aquesta dissociació es completa a altes temperatures, entre 700-900°C, en condicions de cocció oxidant. Aquesta descomposició afavoreix, d'una banda, la reacció de l'òxid de calci ( $\text{CaO}$ ) amb altres components de la pasta, el que pot resultar en la cristal·lització de calco-silicats i calco-alumino-silicats d'alta temperatura, així com el desenvolupament d'una microestructura cel·lular a causa de l'alliberament del diòxid de carboni ( $\text{CO}_2$ ). D'altra banda, però, existeixen certs inconvenients potencials en l'ús d'una pasta calcària, en cas que l'òxid de calci no reaccioni per complet amb altres components. Un cop finalitzada la cocció, l'òxid de calci lliure restant pot reaccionar amb el vapor d'aigua de l'atmosfera donant lloc a la formació d'hidròxid de calci ( $\text{Ca}[\text{OH}]_2$ ). La reacció d'aquest component amb el diòxid de carboni present a l'atmosfera completaria el fenomen de recarbonatació, implicant un increment d'aproximadament el doble de volum respecte l'òxid de calci inicial (Picon 1973: 16). Evidentment, aquest augment de volum pot comportar l'aparició de fractures en la peça, especialment en casos de granulometries grolleres.

Lògicament, les ceràmiques fetes a partir de pastes poc calcàries no presenten el problema de la dissociació. Així mateix, les ceràmiques poc calcàries mostren un menor desenvolupament de fases de cocció d'alta temperatura i una microestructura més densa no cel·lular. En aquests casos, a més, la formació de la fase vítria es produeix de manera molt més ràpida.

Els efectes de l'òxid de calci en la microestructura de la ceràmica han estat discutits àmpliament per Maniatis i Tite (1975; 1981), Maniatis i col·laboradors (1981; 1982; 1983) i Tite i Maniatis (1975a; 1975b). En aquests treballs s'observa com per sota

dels 800°C i en condicions de cocció oxidant no es produeix cap estadi de vitrificació significatiu. En pastes calcàries, és aproximadament a partir dels 850°C quan s'inicia la formació de la microestructura cel·lular característica, la qual es manté estable durant uns 200°C. Així, en assolir temperatures superiors als 1050°C, el desenvolupament de la fase vítria augmenta ràpidament fins a un estadi de vitrificació total, aproximadament, al voltant dels 1150°C. Contràriament, en pastes poc calcàries, l'augment de la fase vítria és progressiu des del 800°C fins els 1000°C, temperatura al voltant de la qual s'obté un estadi de vitrificació total. Aquest diferent comportament és degut a que en les pastes calcàries, les fases minerals d'alta temperatura que cristal·litzen durant la cocció actuen com a inhibidores en la formació de la fase vítria en el rang 850-1050°C.

Aquestes diferències en el desenvolupament de la microestructura té importants implicacions en les propietats mecàniques de la ceràmica (Kilikoglou *et al.* 1995; 1998). Per bé que la resistència a la fractura mecànica del material ceràmic és una funció del tipus, mida i freqüència de les partícules no plàstiques presents a la matriu, de la composició química de la pasta, així com de la temperatura de cocció equivalent (TCE) (Green 1998), la microestructura cel·lular característica de ceràmiques calcàries hi juga un paper principal en tant que resulta en una xarxa de microporositat tancada que concentra l'estrès i, per tant, reudeix la resistència a la fractura, alhora que augmenta la quantitat d'energia dissipada durant la propagació de les fractures mitjançant un mecanisme de deflecció i bifurcació (Kilikoglou *et al.* 1995). Amb l'augment de la TCE i, en conseqüència, amb un major desenvolupament de l'estat de vitrificació, la resistència a la fractura és major, mentre l'energia dissipada durant la propagació de les fractures, és a dir, la tenacitat, és menor.

Així doncs, un possible avantatge en l'ús de pastes calcàries és que l'estadi de vitrificació extensiva es manté sense canvis importants al voltant de 200°C precisament en un rang d'alta temperatura (entre 850-1050°C), mentre que amb l'ús de pastes poc calcàries l'estadi de vitrificació augmenta progressivament amb l'augment de la temperatura de cocció. En conseqüència, si l'expectativa de la producció és la d'obtenir un producte ceràmic amb una resistència mecànica relativament alta, cosa que, en principi, està associada a un estadi de vitrificació extensiu, el control sobre la temperatura que hauria d'assolir el forn per a produir el producte esperat seria menys



crític amb l'ús de pastes calcàries. La qüestió subjacent és si les característiques d'aquestes dues eleccions tècniques, especialment les relacionades amb la cocció de les ceràmiques, tingueren algun efecte sobre la conducta dels/les productors/es d'aquests envasos. En cas afirmatiu, seria d'esperar que les TCE més altes fossin més freqüents en el cas de les àmfores calcàries que en les poc calcàries. Aquest aspecte serà discutit en el següent apartat.

Un altre dels aspectes rellevants en relació a aquestes dues eleccions tècniques —pastes poc calcàries i pastes calcàries— afecta directament a les competències visuals de les ceràmiques. Certament, les competències visuals tenen, en la majoria de casos, un pes important en el procés de disseny d'una tecnologia ceràmica, en tant que juguen un paper capdal en la identificació dels productes, no sols en la seva adquisició en un mercat, sinó en varis estadis al llarg de la cadena de comportament (veure diversos exemples citats a Skibo i Schiffer 2001; 2008: 13-15; Petroski 2006). En el cas concret de les àmfores, suggerim que el color de les ceràmiques, junt al disseny formal de l'envàs, haurien d'haver jugat un paper important en la identificació del producte d'interès principal —el contingut de l'àmfora; el vi—, en tant que no existeix la possibilitat d'un reconeixement visual directe. En aquest sentit, el contingut de CaO és un dels factors que condiciona la coloració d'una ceràmica (Picon 1973: 59-62), en tant que inhibeix el desenvolupament dels cristalls d'òxid de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) present en la pasta —sempre que la cocció es doni en condicions oxidants. Donat que l'òxid de ferro és el principal responsable de la coloració vermellova de moltes ceràmiques, la producció de ceràmiques a partir de pastes calcàries a altres temperatures tendeix a donar com a resultat uns productes amb una coloració de tonalitats clares, mentre que en pastes poc calcàries, l'òxid de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) pot cristal·litzar i créixer lliurement, generalment en forma d'hematites, proporcionant una coloració vermellova a la ceràmica (Maniatis *et al.* 1981).

En definitiva, queda palès que la producció anforal en estudi representa diverses tecnologies; d'una banda, hi ha centres que —aparentment— produeixen àmfores exclusivament a partir de pastes poc calcàries —com són els casos de Can Notxa, El Mujal, C/ de Guillem de Palafolls i Fenals— i centres en què s'identifiquen produccions calcàries, però també poc calcàries (sempre en un nombre clarament inferior respecte

les calcàries), així com també alguns individus en el límit entre aquestes dues tecnologies —seria el cas del Collet de Sant Antoni de Calonge i de Llafranc. Aquestes diferències tecnològiques entre una àmfora produïda a partir d'una pasta poc calcària i una calcària o altament calcària haurien estat perceptibles ja durant el mateix procés de preparació de la pasta (Hoard *et al.* 1995), així com durant els processos de confecció i cocción (Hoard *et al.* 1995; Maniatis *et al.* 1981; 1982; 1983), però també durant l'ús de l'àmfora com a envàs de transport o emmagatzematge (Hoard *et al.* 1995; Kilikoglou i Vekinis 2002; Maniatis *et al.* 1984; Vekinis i Kilikoglou 1998).

És interessant observar també com aquesta diversitat de tecnologies ceràmiques que operen conjuntament en la producció d'àmfores es corresponen, al menys pel que respecte als tallers en estudi, amb diferents substrats polítics Íbers (àrea de la Laietània i Indigeta). Aquest aspecte pot resultar especialment rellevant en l'estudi del canvi tecnològic que implica la producció amforal romana en estudi. Recordem que, en un sentit més ampli, les primeres produccions amforals romanes del nord-est de la península Ibèrica s'inscriuen en el que pot ésser considerat com un procés doble de canvi tecnològic (Buxeda *et al.* 2008). D'una banda, s'imposa la substitució dels dissenys formals ibèrics —de clara tradició púnico-fenícia— pels dissenys romans —o de tradició greco-llatina. Els primers es caracteritzen, en general, per unes fàbriques d'aparença poc grollera i unes parets dels envasos relativament primes, a diferència del que caracteritza la majoria de dissenys romans, de parets relativament gruixudes i de fàbrica grollera. A més, la tecnologia de producció d'aquests envasos deixa entreveure un panorama força més complex. En l'àrea laietana s'identifiquen produccions amforals ibèriques bàsicament poc calcàries, mentre que en l'àrea indigeta es documenta una producció fonamentalment calcària, com seria el cas del centre de Mas Castellar de Pontós (Alt Epordà) (veure Tsantini 2007).

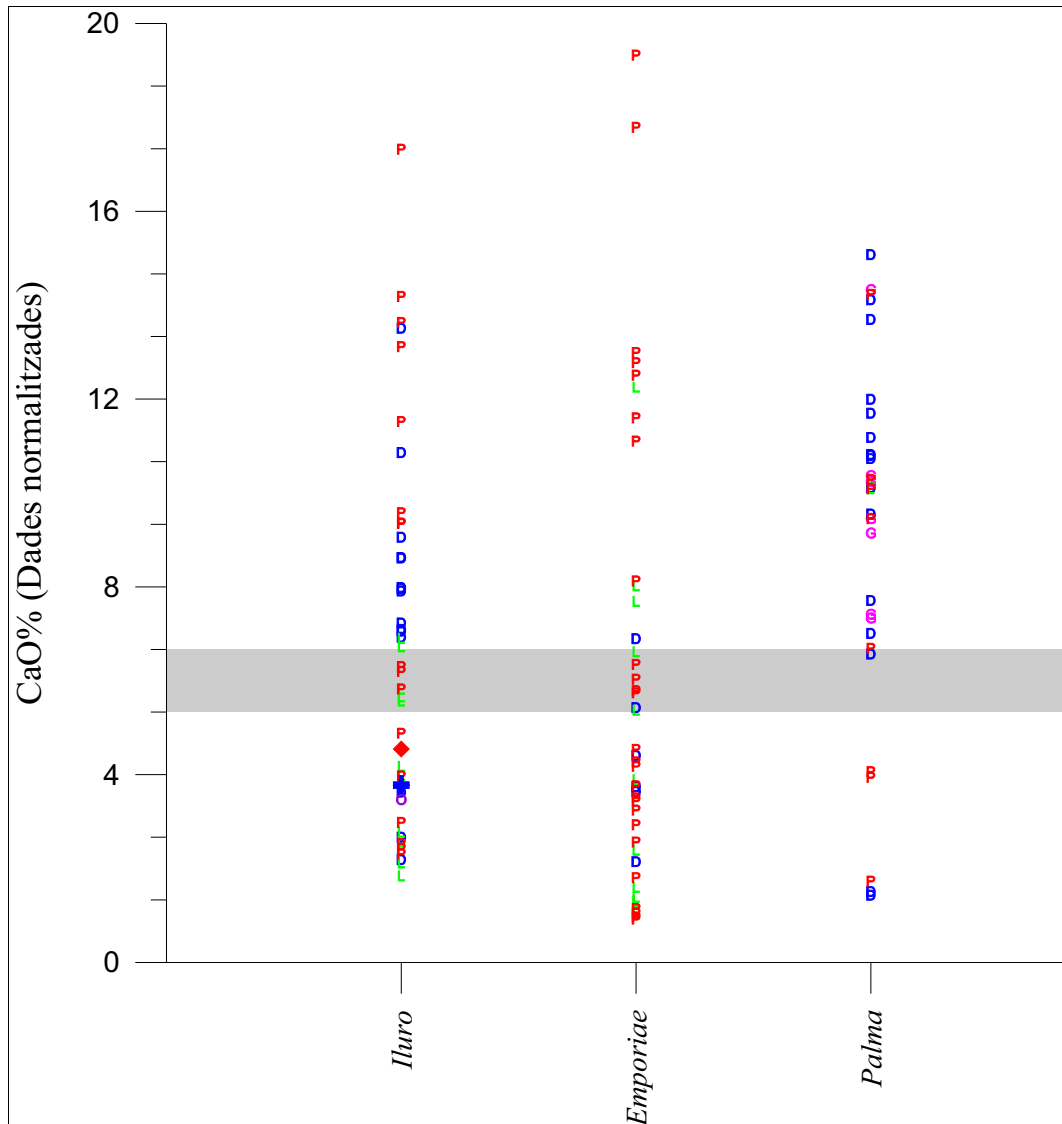
D'altra banda, es produeix una clara diferenciació entre els dissenys romans produïts; des del tipus Dressel 1 inicial, les produccions pròpies de Laietana 1/Tarraconense 1 i Pascual 1, fins a tornar als dissenys clarament itàlics de la Dressel 2-4, per esmentar sols els tipus més freqüents. Entre aquests dissenys formals diferents, i a partir del que hem exposat fins ara, no es poden establir diferències significatives des del punt de vista tecnològic en la composició química de les pastes emprades en la

confecció dels envasos en un mateix centre productor. En aquest sentit, és interessant observar com les àmfores de possible provenença itàlica mostren, fins allà on tenim coneixement, un tecnologia de producció fonamentalment a partir de pastes calcàries, al menys pel que respecte els primers dissenys (Hesnard *et al.* 1989; Pecchioni *et al.* 2007; Thierrin-Michael 1991; Thierrin-Michael i Picon 1994). Per tant, els trets tecnològics que caracteritzen les produccions romanes d'Itàlia només tenen un reflexe parcial entre els taller estudiats de la província *Tarraconensis*. La producció en aquests tallers sembla que només reproduïx formalment els models itàlics, i això parcialment, en tant que la fàbrica i el disseny formal només s'identifiquen clarament en el cas dels tipus Dressel 1 i Dressel 2-4. D'altra banda, l'elecció tècnica de producció a partir de pastes calcàries només s'observa en una part de la producció estudiada i que, en cap cas, sembla tenir una disposició diacrònica. Així, per exemple, el model que s'observa en el cas del centre productor de Can Pau Ferrer-Ca l'Arnau (Cabrera de Mar) (Martínez *et al.* 2005), on es constata un canvi des de les primeres produccions poc calcàries (Dressel 1) i lleugerament calcàries (Laietena 1/Tarraconense 1), fins a plenament calcàries (Pascual 1), no sembla tenir el seu cas equivalent entre els tallers estudiats en aquest treball.

Així doncs, podem establir fins ara que els centres productors caracteritzats defineixen clarament dues àrees on operen tecnologies ceràmiques diferents i que es corresponen amb diferents substrats pre-romans. Arribats a aquest punt, tot i que aquest capítol tracta d'una aproximació arqueomètrica als centres productors, sembla interessant veure fins a quin punt els models generals que s'estableixen per als centres productors tenen un reflex en els centres receptors estudiats —al menys pel que respecte el caràcter calcari (poc calcari) de les àmfores.

En la Figura 64 apareixen els individus procedents de les ciutats d'*Iluro*, *Emporiae* i *Palma*, identificats per tipus i en funció del contingut en CaO. Com queda ben palès, en els centres receptors es perfila un panorama similar, en tant que es troben també representades diverses tecnologies ceràmiques, amb àmfores poc calcàries, lleugerament calcàries, calcàries i altament calcàries, que representen la pràctica totalitat dels dissenys caracteritzats. Aquesta constatació està plenament amb concordança amb un model de consum en un context colonial en què la principal estructura de poder ha modificat substancialment els patrons de comportament en els camps de la producció,

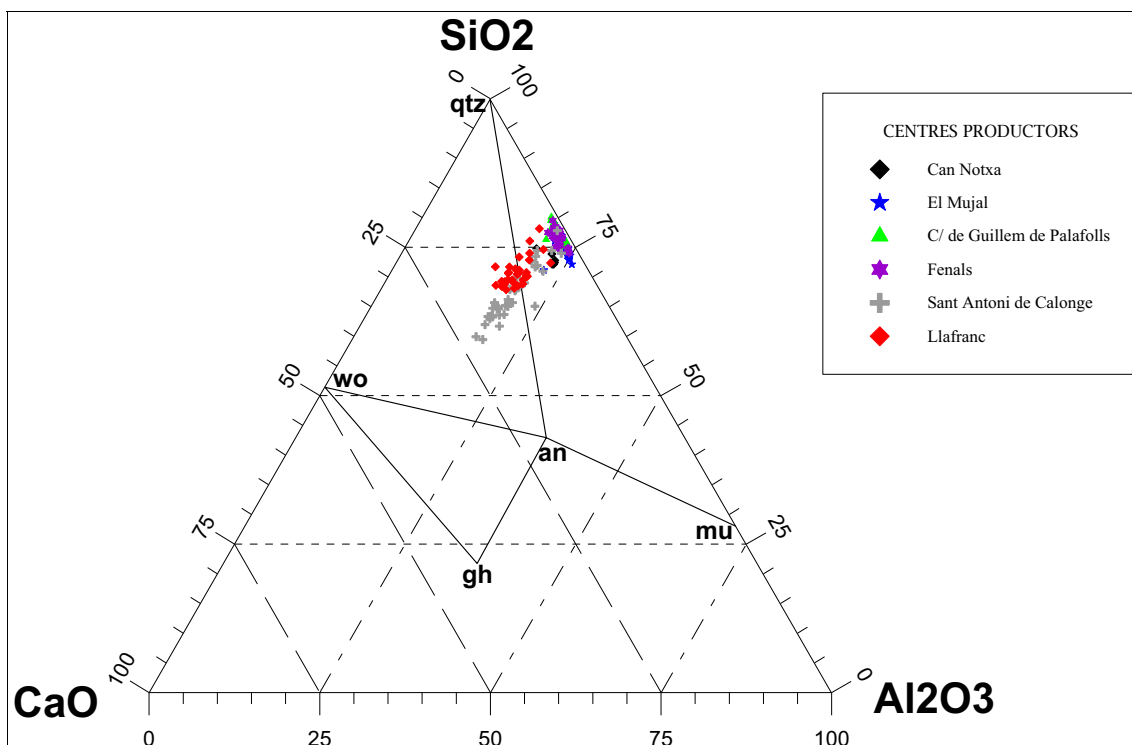
distribució i consum de béns (veure Carrier i Heyman 1997, i referències en el seu interior; Miller 1987), i molt especialment en els estadis inicials d'assentament territorial (en aquest sentit, veure Gosden 2004: 39-56).



**Figura 64.** Contingut en CaO% (Dades normalitzades), en ordenades, dels individus amforals recuperats en els centres receptors, en absisses. G=Greco-itàlica; D=Dressel 1; L=Laietana 1/Tarraconense 1; P=Pascual 1; +=Dressel 7-11; ♦=Lamboglia 2; O=Oberaden 74. La banda grisa representa el límit teòric entre ceràmiques poc calcàries (<5-6%) i calcàries (>5-6%).

### 7.4.2 Temperatura de cocció equivalent (TCE)

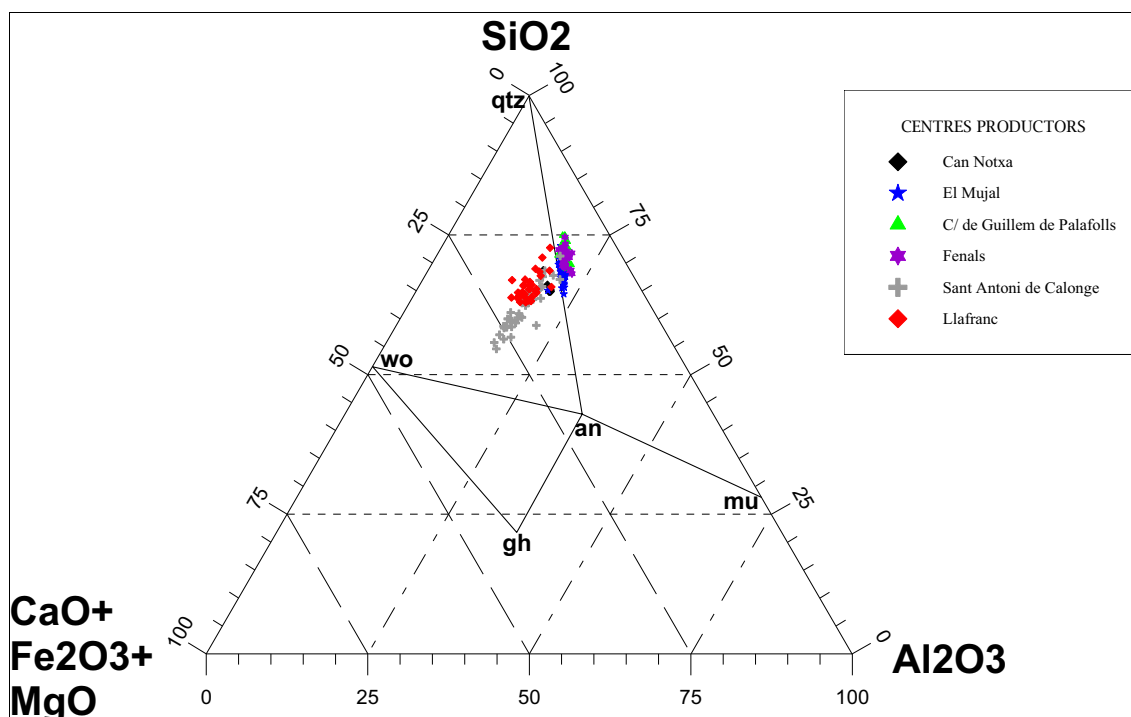
La situació dels individus caracteritzats en el diagrama ternari del sistema  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  es pot observar en la Figura 65. Aquest diagrama ternari mostra quines serien les fases predominants en cas que un magma amb la composició dels individus en aquest sistema es refredés, donant lloc a la cristal·lització de fases minerals. Certament, la ceràmica no resulta del refredament d'un magma, sinó de la cocció d'un pasta formada per minerals argilosos i una diversitat d'inclusions no plàstiques. No obstant, amb l'augment de la TCE es produirà l'aparició d'una fase vítria, així com la cristal·lització de diferents fases minerals de cocció. Per tant, com a primera aproximació, és d'esperar que les fases dels triangles d'equilibri termodinàmic siguin les fases predominants a mesura que les TCE augmenten (Heimann 1989; Maggetti 1981).



**Figura 65.** Diagrama ternari del sistema  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  amb la situació dels 222 individus procedents dels sis centres productors caracteritzats. **an**=anortita ( $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ ); **gh**=gehlenita ( $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_7$ ); **mu**=mul·lita ( $\text{Al}_6[\text{Si}_2\text{O}_{13}]$ ); **qtz**=quars ( $\text{SiO}_2$ ); **wo**=wol·lastonita ( $\text{CaSiO}_3$ ).

Es pot observar com la majoria dels individus se situen clarament dins del triangle d'equilibri termodinàmic quars-anortita-mul·lita, propi d'un comportament poc calcari. En aquest triangle se situa la totalitat dels individus dels centres de Can Notxa, El Mujal, C/ de Guillem de Palafolls i Fenals, així com els individus menys calcaris procedents dels centres del Collet de Sant Antoni de Calonge (CAL005, 7, 8, 12, 21, 26, 29, 32, 33, 34, 36) i de Llafranc (LLA002, 8, 9, 11, 13, 16, 20, 21, 22, 24, 26, 28). La resta d'individus d'aquests dos darrers centres productors se situen ja dins del triangle d'equilibri termodinàmic quars-anortita-wol·lastonita, degut al seu caràcter plenament calcari.

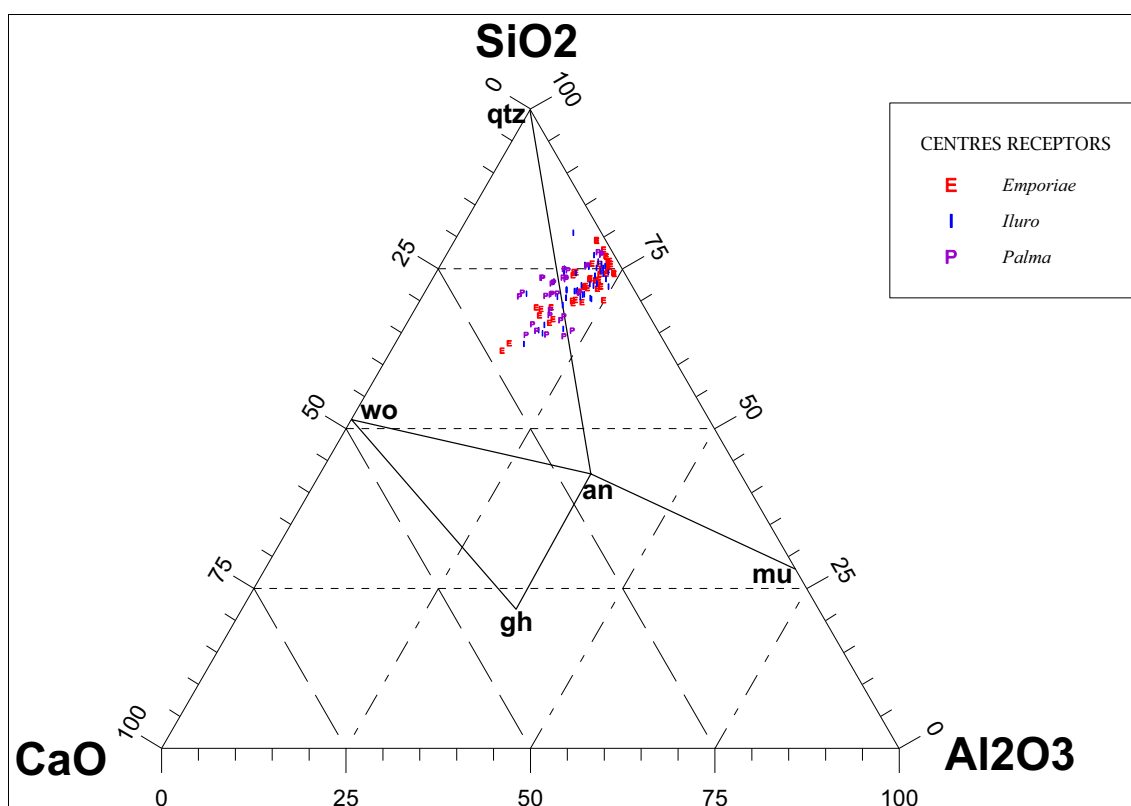
La separació dels dos grans grups químics definits s'estableix de manera molt més clara en cas de situar els individus en l'anomenat triangle ceràmic, format pel sistema ternari (CaO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> (Figura 66).



**Figura 66.** Diagrama ternari del sistema (CaO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> amb la situació dels 222 individus procedents dels sis centres productors caracteritzats. **an**=anortita (Ca[Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>]); **gh**=gehlenita (Ca<sub>2</sub>Al(Si,Al)<sub>2</sub>O<sub>7</sub>); **mu**=mul·lita (Al<sub>6</sub>[Si<sub>2</sub>O<sub>13</sub>]); **qtz**=quars (SiO<sub>2</sub>); **wo**=wol·lastonita (CaSiO<sub>3</sub>).

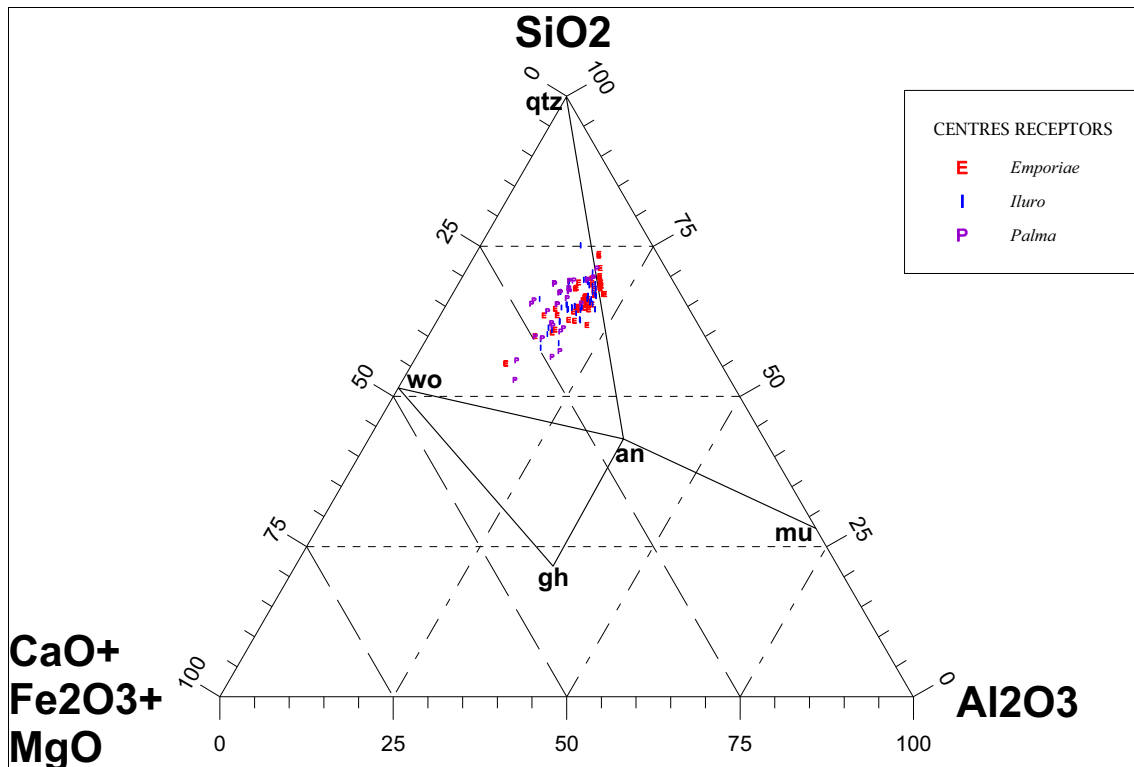
En aquest sistema s'han afegit als valors del CaO els dels components MgO i  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  en tant que actuen com a fluxos i, per tant, redueixen la temperatura a la qual es produeixen les transformacions minerals durant la cocció. Així doncs, en el triangle ceràmic queden separats, d'una banda, la pràctica totalitat dels individus recuperats en els centres productors d'El Mujal, C/ de Guillem de Palafolls i Fenals, dintre del triangle d'equilibri termodinàmic quars-anortita-mul·lita, i, d'altra banda, els individus de Can Notxa, Collet de Sant Antoni de Calonge i Llafranc, situats dins del triangle d'equilibri termodinàmic quars-anortita-wol·lastonita. Es pot veure com els individus de Can Notxa queden situats dins d'aquest triangle d'equilibri termodinàmic junt a les produccions calcàries del grup B, per bé que en una situació propera al límit amb el triangle d'equilibri termodinàmic quars-anortita-mul·lita. Aquest comportament és degut al contingut relativament alt que presenten aquests individus en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , però molt especialment al fet que tenen els continguts en MgO més alts de tota l'agrupació A. D'altra banda, cal també esmentar els casos particulars dels individus CAL005, CAL12 i CAL36, que presenten uns continguts baixos en CaO, raó per la qual se separen de la resta d'individus de Sant Antoni de Calonge i se situen al costat de la resta d'individus de l'agrupació A, així com de l'individu MUJ011, separat de la resta d'individus d'El Mujal a causa d'un contingut anormalment alt en CaO, el que explica la seva situació dins del triangle d'equilibri termodinàmic quars-anortita-wol·lastonita.

En quant als individus recuperats en els centres receptors, la seva situació en el diagrama ternari del sistema  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  apareix representada en la Figura 67. En aquest cas, la majoria d'individus recuperats en els jaciments d'*Emporiae* i d'*Iluro* se situen dins del triangle d'equilibri termodinàmic quars-anortita-mul·lita, mentre que la majoria dels individus recuperats en el centre receptor de *Palma* queden inscrits dins del triangle d'equilibri termodinàmic quars-anortita-wol·lastonita, degut al seu caràcter més calcari. Tanmateix, en cas de situar els mateixos individus dins del triangle ceràmic (Figura 68), la gran majoria queden se situen a l'interior del triangle d'equilibri termodinàmic quars-anortita-wol·lastonita, a causa dels continguts relativament alts en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . En el cas del  $\text{MgO}$ , cal dir que la pràctica totalitat d'individus presenten continguts relativament normals, entre 1-5% en dades normalitzades.



**Figura 67.** Diagrama ternari del sistema  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  amb la situació dels 126 individus procedents dels tres centres receptors caracteritzats. **an**=anortita ( $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ ); **gh**=gehlenita ( $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_7$ ); **mu**=mul·lita ( $\text{Al}_6[\text{Si}_2\text{O}_{13}]$ ); **qtz**=quars ( $\text{SiO}_2$ ); **wo**=wol·lastonita ( $\text{CaSiO}_3$ ).





**Figura 68.** Diagrama ternari del sistema  $(\text{CaO}+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO})-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  amb la situació dels 126 individus procedents dels tres centres receptors caracteritzats. **an**=anortita ( $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ ); **gh**=gehlenita ( $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_7$ ); **mu**=mul·lita ( $\text{Al}_6[\text{Si}_2\text{O}_{13}]$ ); **qtz**=quars ( $\text{SiO}_2$ ); **wo**=wol·lastonita ( $\text{CaSiO}_3$ ).

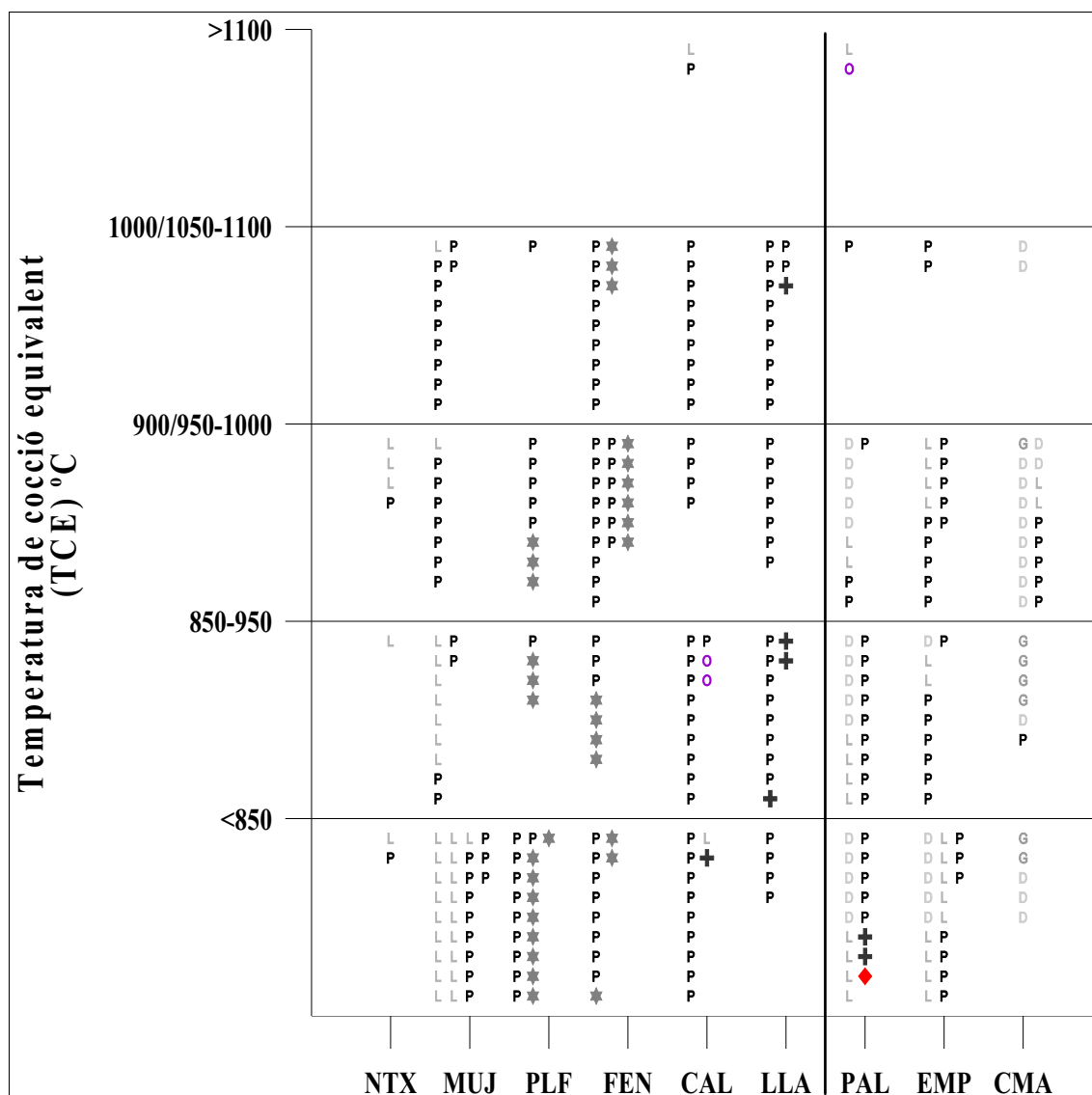
Dins del triangle quars-anortita-mul·lita hi resten exclusivament un conjunt de 13 individus d'*Emporiae* (destacat la presència de 9 de les 15 Laietana 1/Tarraconense 1 analitzades d'aquest jaciment, i 4 individus Pascual 1), així com l'individu Pascual 1 CMA030 procedent del jaciment de *Palma*.

Les TCE dels individus amforals han estat estimades a partir de l'estudi dels difractograms, definint, així, diverses fàbriques en funció de l'associació de fases cristal·lines. L'estudi aprofundit de les fàbriques definides per a cada centre productor serà presentat en el capítol següent. No obstant, a continuació es presenta un quadre resum amb la situació dels 348 individus caracteritzats, procedents tant dels centres productors com dels centres receptors, en cinc categories que corresponen als rangs de TCE en els quals es produeixen els canvis més importants en la microestructura

ceràmica (Maniatis i Tite 1975; Maniatis *et al.* 1981; Maniatis *et al.* 1983).

Com es pot observar en el quadre de la Figura 69, les TCE estimades mostren una gran variabilitat. Aquest fet és, en cert sentit, d'esperar en el cas dels centres productors, en tant que els individus procedents d'aquests jaciments han estat recuperats bé a l'interior dels forns bé en els abocadors propers, on haurien anat a parar els individus que, per una raó o altra, no es consideraren adients per a entrar en els circuits comercials, o els que ja havien realitzat la seva funció com a envàs de transport i no es reutilitzaren. Per tant, es corrobora la hipòtesi inicial segons la qual en els centres productors resten individus que representen una àmplia gamma de TCE, inclosos els que assoliren temperatures excessivament altes o excessivament baixes per a ésser considerats adients per a servir com a envasos de transport. En aquest sentit, és interessant observar com els individus recuperats en centres receptors mostren també una important variabilitat de TCE. D'això se'n desprèn que es consideraren aptes per al transport, no sols els envasos que representen el que es considera un rang de temperatura propi d'una bona cocció (850/950-1000°C), sinó també aquells que varen ser cuits clarament a baixes temperatures (<850°C). Certament, tot i la important variabilitat de TCE estimades entre els individus dels centres receptors, és significativa la poca presència d'àmfores cuites a altes temperatures (>1000°C), a diferència del que ocorre, com ja hem vist, en els centres productors. En aquests darrers, el percentatge d'individus cuits a temperatures superiors als 1000°C és de 17.8%, mentre que en els centres receptors el percentatge es redueix a 7.2%.

Un altre aspecte interessant a destacar és que els majors percentatges d'individus cuits a altes temperatures es corresponen a les produccions calcàries del Collet de Sant Antoni de Calonge i de Llafranc (28.9% i 35.3%, respectivament). En quant a les produccions poc calcàries, les TCE estimades se situen majoritàriament per sota dels 1000°C. L'única excepció remarcable és el cas d'El Mujal on s'hi identifica un conjunt d'àmfores amb unes TCE estimades entre 1000/1050-1100°C, format majoritàriament per Pascual 1, per bé que sols representa un 18.3% dels individus d'aquest centre i, per tant, un percentatge clarament menor als del Calonge i Llafranc.



**Figura 69.** Quadre resum de les TCE dels 348 individus caracteritzats. **NTX**=Can Notxa; **MUJ**=El Mujal; **PLF**=C/ de Guillem de Palafolls; **FEN**=Fenals; **CAL**=Collet de Sant Antoni de Calonge; **LLA**=Llafranc; **PAL**=Iluro; **EMP**=Emporiae; **CMA**=Palma. **G**=Greco-itàlica; **D**=Dressel 1; **L**=Laietana 1/Tarraconense 1; **P**=Pascual 1; **★**=Dressel 2-4; **+**=Dressel 7-11; **◆**=Lamboglia 2; **O**=Oberaden 74.

Si es centra l'atenció en les diferents tipologies en estudi es pot veure com en el cas de les produccions d'El Mujal hi ha una diferència significativa entre les TCE del tipus Pascual 1 i del tipus Laietana 1/Tarraconense 1. Mentre que per a la majoria de Pascual 1 s'estimen unes TCE superiors al rang 850-950, la pràctica totalitat dels individus Laietana 1/Tarraconense 1 se situen clarament per sota d'aquest rang. Aquesta tendència en el cas de les Laietana 1/Tarraconense 1 també es manifesta entre els individus dels centres receptors. En el cas del C/ de Guillem de Palafolls, la majoria de

Pascual 1 i Dressel 2-4 mostren unes TCE baixes, per sota dels 850-950°C. Un cas particular és Fenals, on la majoria dels individus, tant Pascual 1 com Dressel 2-4, se situen clarament en el rang 900/950-1000°C. Per tant, Fenals és el centre productor d'àmfores a partir de pastes poc calcàries on són més freqüents les TCE altes.

### 7.4.3 Inclusions no plàstiques

Aquest apartat ha de començar necessàriament amb una aclaració terminològica. Tant en la literatura arqueològica com arqueomètrica és freqüent que el terme *desgreixador* aparegui amb diferents significats. En ocasions, amb aquest terme es fa referència implícita al conjunt d'inclusions no plàstiques —generalment d'origen mineral— que són presents a la pasta. En altres ocasions, aquest terme és emprat per designar tot el material afegit pel/la ceramista per tal de modificar les propietats de la pasta, ja siguin només inclusions no plàstiques o bé, per exemple, una segona argila més grassa. Una diferència important entre aquestes dues accepcions és que la segona implica la conducta del/la ceramista i, per tant, proporciona una dimensió antropològica al terme. D'aquesta manera, s'ha d'entendre que hom parla de *desgreixador* quan existeixen indicis d'un afegit intencionat durant el procés de manufactura.

Les inclusions no plàstiques juguen un paper important tant durant el procés de manufactura d'una ceràmica com en les propietats del producte final. Fonamentalment, la seva presència en una pasta permet regular la plasticitat de la fase argilosa i facilitar-ne el modelatge (Picon 1973: 11:13), permet millorar la seva consistència, a més de modificar les propietats del producte final (porositat, densitat, resistència al xoc tèrmic i mecànic, entre d'altres) (veure Henderson 2000; Velde i Druc 1999). Donada la importància d'aquests components en el procés tecnològic de producció ceràmica, especialment en relació a les propietats mecàniques, en aquest apartat farem una primera aproximació a la freqüència i mida aparent de les inclusions no plàstiques de diferents tipus amforals. En aquest sentit, per bé que el conjunt d'inclusions poden ésser categoritzades en funció d'una menor (*soft*) o major (*hard*) duresa, la nostra anàlisi ha contemplat el total d'inclusions ja que la resistència a la fractura mecànica d'una ceràmica, més concretament la resistència Hertziana, es veu afectada pel conjunt de les inclusions presents a la matriu (Vekinis i Kilikoglou 1998). Així, s'han efectuat

quantificacions per a estimar la fracció per volum aparent ( $V_f$ ) de les inclusions presents en les ceràmiques, així com mesures granulomètriques per estimar-ne la mida aparent i comparar, així, la manera en què es distribueixen. Aquestes anàlisis s'han realitzat a partir d'observacions per Microscòpia Òptica (MO) sobre làmina prima. El tractament digital de les imatges ha estat realitzat amb el paquet informàtic de domini públic *Image J* 1.38x<sup>36</sup>.

Els individus amforals analitzats corresponen als tipus Dressel 1 (n=3), Laietana 1/Tarraconense 1 (n=3), Pascual 1 (n=6) i Dressel 2-4 (n=4). Així mateix, donat que les àmfores en estudi es poden emmarcar en un procés doble de canvi tecnològic en què, no sols hi ha un canvi de disseny entre els envasos romans, sinó que, alhora, aquests substitueixen els envasos Ibèrics precedents, hem practicat les mateixes anàlisis sobre individus representatius d'àmfores ibèriques (n=2) per tal d'ampliar la perspectiva de l'estudi.

Un dels principals interrogants que es plantegen està en distingir si les inclusions que s'observen es poden considerar naturals, és a dir, presents de manera conjunta amb la fase argilosa, o bé afegides durant el procés de manufactura. Així mateix, es qüestiona si els diferents tipus analitzats presenten una mida i freqüència similar d'inclusions no plàstiques o si, per contra, existeixen diferències significatives.

#### 7.4.3.1 Àmfora Ibèrica

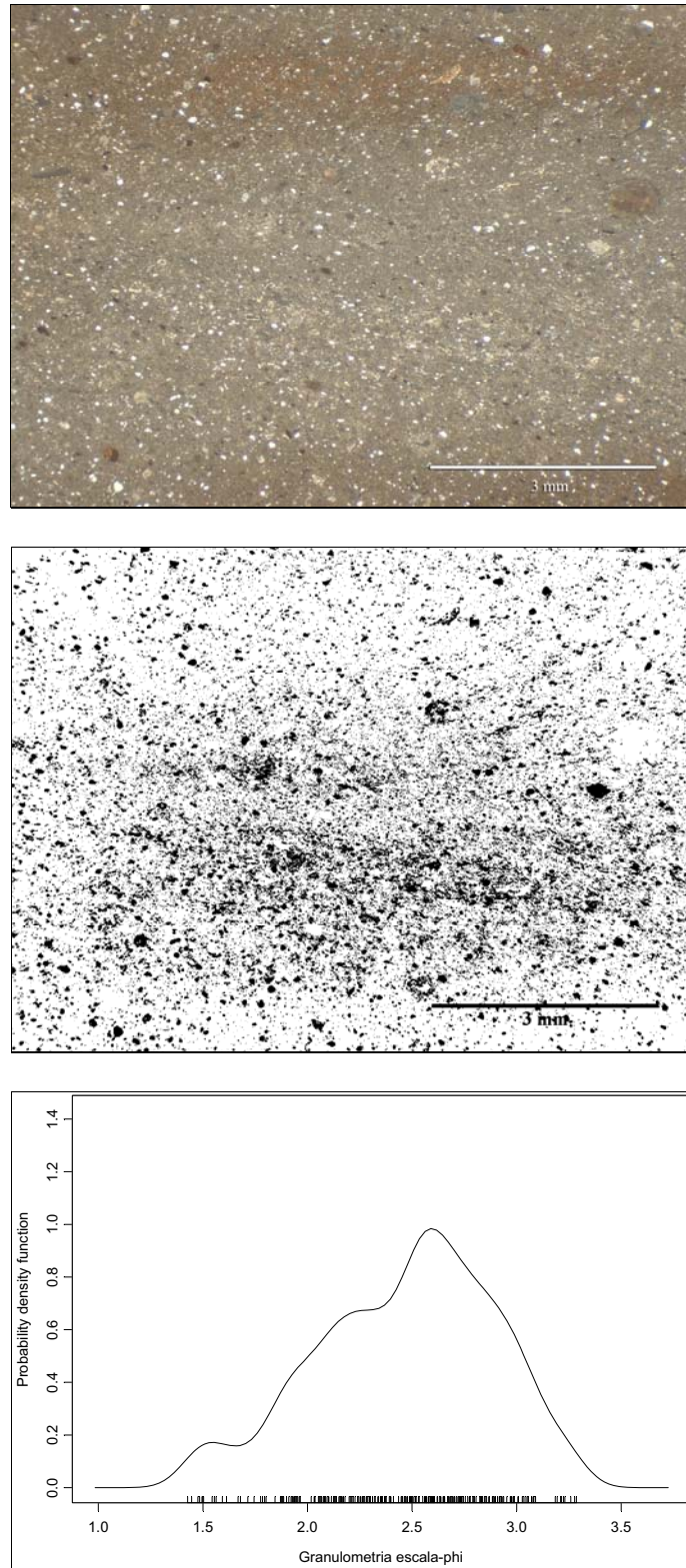
Els individus d'àmfora ibèrica sobre els quals s'ha efectuat l'anàlisi granulomètrica apareixen etiquetats com a AMI041 i AMI054. Ambdós són procedents de l'àrea laietana; concretament el primer fou recuperat en l'abocador del Camí de Vista Alegre (Mataró, Maresme) i el segon en el jaciment del Turó dels Dos Pins (Cabrera de Mar, Maresme). Aquests individus, classificats tipològicament dins del subtipus 2B i 2C, respectivament (Sanmartí *et al.* 2004), han estat caracteritzats arqueomètricament per Tsantini (2007). L'estudi mineralògic per DRX mostra que les fases principals estan dominades per quars, plagiòclasi, feldspat potàssic, il·lites moscovites, hematites, espinel·la, enstatita i, en el cas de l'individu AMI054, hercinita (Tsantini 2007: 273-276).

---

<sup>36</sup> Veure apartat 6.4.

La fàbrica d'aquests dos individus presenta clares diferències respecte la majoria de les àmfores romanes caracteritzades, perceptibles macroscòpicament a ull nu. Les àmfores ibèriques es caracteritzen per una fàbrica de factura fina i per unes parets relativament primes (Tsantini 2007), mentre els envasos romans mostren unes inclusions relativament més grolleres i unes parets més gruixudes. La factura fina de les àmfores ibèriques apareix representada en la Figura 70 (superior), en què es mostra una microfotografia presa sobre una làmina prima de l'individu AMI041. A partir d'un tractament digital, la microfotografia ha estat transformada en un model de dues fases (Figura 70, mig), en el qual la matriu apareix representada en color blanc, mentre que el conjunt de les inclusions apareixen en color negre. L'anàlisi granulomètrica ha estat efectuada sobre aquesta representació en blanc i negre, mesurant les inclusions d'un diàmetre màxim aparent superior a 30  $\mu\text{m}$  (Schmitt 1998). El resum estadístic d'aquesta anàlisi es pot veure a la Taula 25 (Annex 1), on es presenten els valors obtinguts en la mesura el diàmetre màxim aparent (expressat en  $\mu\text{m}$  i unitats  $\phi$ ) i l'àrea (expressada en  $\mu\text{m}^2$  i unitats  $\phi$ ). A més, ha estat estimada l'esfericitat de cada inclusió en una escala que pren valors de 0 (màxima angularitat) a 1 (màxima esfericitat).

La fracció per volum aparent ( $V_f$ ) de les inclusions no plàstiques és molt similar en els dos individus d'àmfora ibèrica analitzats. Per a l'individu AMI041 s'ha estimat una  $V_f$  de 9.5%, mentre que per a l'individu AMI054 s'ha estimat en 9.1%. També en ambdós casos la fàbrica està clarament dominada per inclusions de granulometria fina (100-200  $\mu\text{m}$ ), amb aproximadament un 25% de les inclusions que se situen de manera dispersa en fraccions superiors (200-360  $\mu\text{m}$ ). La primera qüestió que es planteja és si la distribució de les inclusions pot respondre a una presència natural amb la fase argilosa o si, al contrari, existeixen evidències d'un afegit durant el procés de preparació de la pasta.



**Figura 70. Superior:** Microfotografia sobre làmina prima d'àmfora ibèrica (AMI041). L'escala representa 3 mm. **Mig:** Representació en blanc i negre de la microfotografia sobre làmina prima. La fase blanca representa la matriu i la fase negra les inclusions no plàstiques. **Inferior:** Gràfic bivariant d'estimació de la funció de densitat de probabilitat mitjançant el mètode *kernel* de les mesures granulomètriques (diàmetre màxim) transformades a escala  $\phi$ .

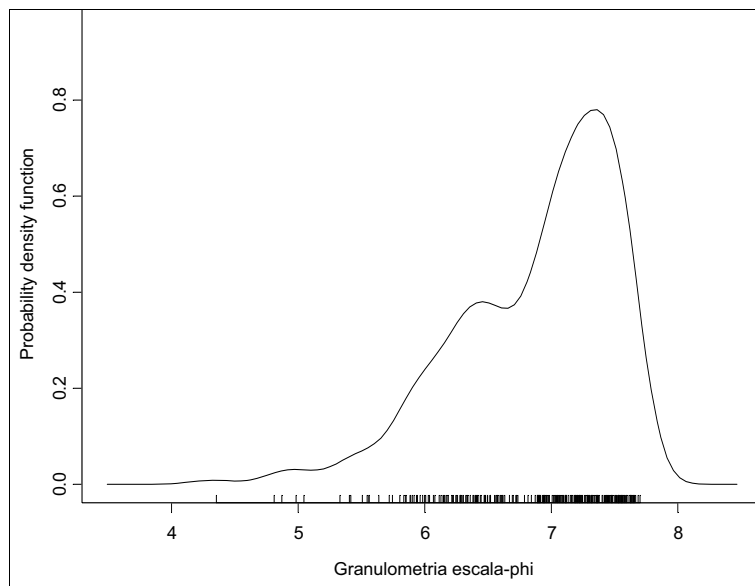
En aquest sentit, la manera en què es distribueixen les inclusions no plàstiques, en funció de les diferents mides, hauria de permetre identificar la possible presència d'un hiatus granulomètric (Picon 1973: 21-24). La distribució de les inclusions no plàstiques que dibuixi una tendència vers la bimodalitat podria estar indicant la presència de desgreixador afegit a la pasta, en tant que la distribució de les inclusions en els sediments naturals acostuma a mostrar una distribució unimodal. Per tant, si establim dues categories de components emprats en la preparació de la pasta (fase argilosa i inclusions no plàstiques), cadascun representant la seva pròpia distribució, és d'esperar que la barreja de components resulti en una distribució bimodal. Així mateix, en aquesta situació teòrica és d'esperar que les fraccions de granulometries més fines estiguin lligades a la fase argilosa, mentre que les granulometries més grolleres es corresponguin amb el desgreixador mineral. En qualsevol cas convé tenir present que en la majoria de casos reals, l'hiatus granulomètric pot aparèixer poc definit en tant que les corbes que dibuixen les distribucions de les inclusions afegides com a desgreixador i les inclusions lligades a la pasta argilosa poden estar parcial o completament solapades (Rathossi *et al.* 2004; Schmitt 1998; Streeten 1982; Whitbread 1995).

Els resultats obtinguts en l'anàlisi granulomètrica han estat transformats a escala logarítmica —escala-phi ( $\phi$ ) (Whitbread 1995: 388-390). En la Figura 70 (inferior) es presenta la funció de densitat *kernel* de les mesures granulomètriques de l'individu AMI041 transformades a escala  $\phi$ . Aquest gràfic mostra l'existència de diversos conjunts d'inclusions que, pel que respecta al seu diàmetre màxim, mostren freqüències majors a les esperades en una distribució lognormal. Així destaca la presència d'un pic de major densitat entre els valors 3.26-2.5  $\phi$ , i un segon entre 2.5-1.77  $\phi$ , el que es correspon aproximadament a 104-177  $\mu\text{m}$  i 177-293  $\mu\text{m}$ , respectivament. Igualment, també apareix un tercer pic de màxima densitat entre 1.77-1.44  $\phi$ , el que correspon aproximadament a 296-369  $\mu\text{m}$ . Aquesta mateixa tendència es constata en considerar els valors corresponents al càlcul de les àrees de les inclusions, com pot ésser observat en el gràfic bivariant de les funcions de densitat *kernel* de les àrees de les inclusions transformades a unitats  $\phi$  (Figura 71). Així doncs, a partir de les dades exposades sembla plausible interpretar que, molt probablement, a sobre de la base d'argila s'hi afegiren inclusions minerals no plàstiques, la majoria de granulometries fines. Aquestes,



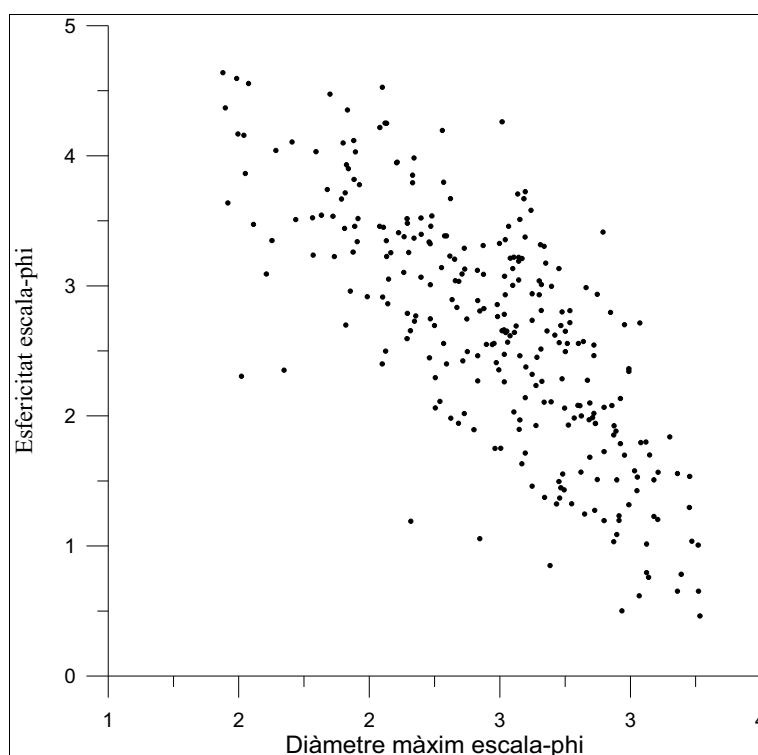
seguint les categories clàssiques de l'escala de Wentworth (1922), es qualificarien de sorres molt fines i sorres fines. Així mateix, també s'hi observen algunes inclusions que es classificarien com a sorra mitja. Aquestes presenten els valors més alts tant de diàmetre màxim com d'àrea aparent i són les menys abundants.

Finalment cal dir que la majoria d'inclusions presenten un grau relativament baix d'esfericitat, essent la majoria angulars i, en menor mesura, subangulars. Així, assumint que l'esfericitat d'una partícula podria estar lligada a una erosió deguda a un procés de transport en medi aquàtic, seria d'esperar que les inclusions de granulometries més fines, i per tant lligades probablement a la fase d'argila de la pasta, mostressin major esfericitat que les de mides superiors, sempre que aquestes es pogués relacionar amb un desgreixador mineral preparat de manera independent i afegit posteriorment. Aquesta tendència queda demostrada en el gràfic bivariant de la Figura 72 dels valors de diàmetre màxim aparent i esfericitat, transformats a escala  $\phi$ . En aquesta gràfica queda ben palès que les inclusions amb diàmetres màxims aparents



**Figura 71.** Gràfic bivariant d'estimació de la funció de densitat de probabilitat mitjançant el mètode *kernel* de les mesures granulomètriques (àrea) transformades a escala  $\phi$  de l'individu AMI041.

majors (valors  $\phi$  més baixos) tendeixen a presentar una forma més angulari (valors  $\phi$  més alts), mentre que les inclusions de diàmetres més petits (valors  $\phi$  més alts) són les que mostren un major grau d'esfericitat (valors  $\phi$  més baixos).

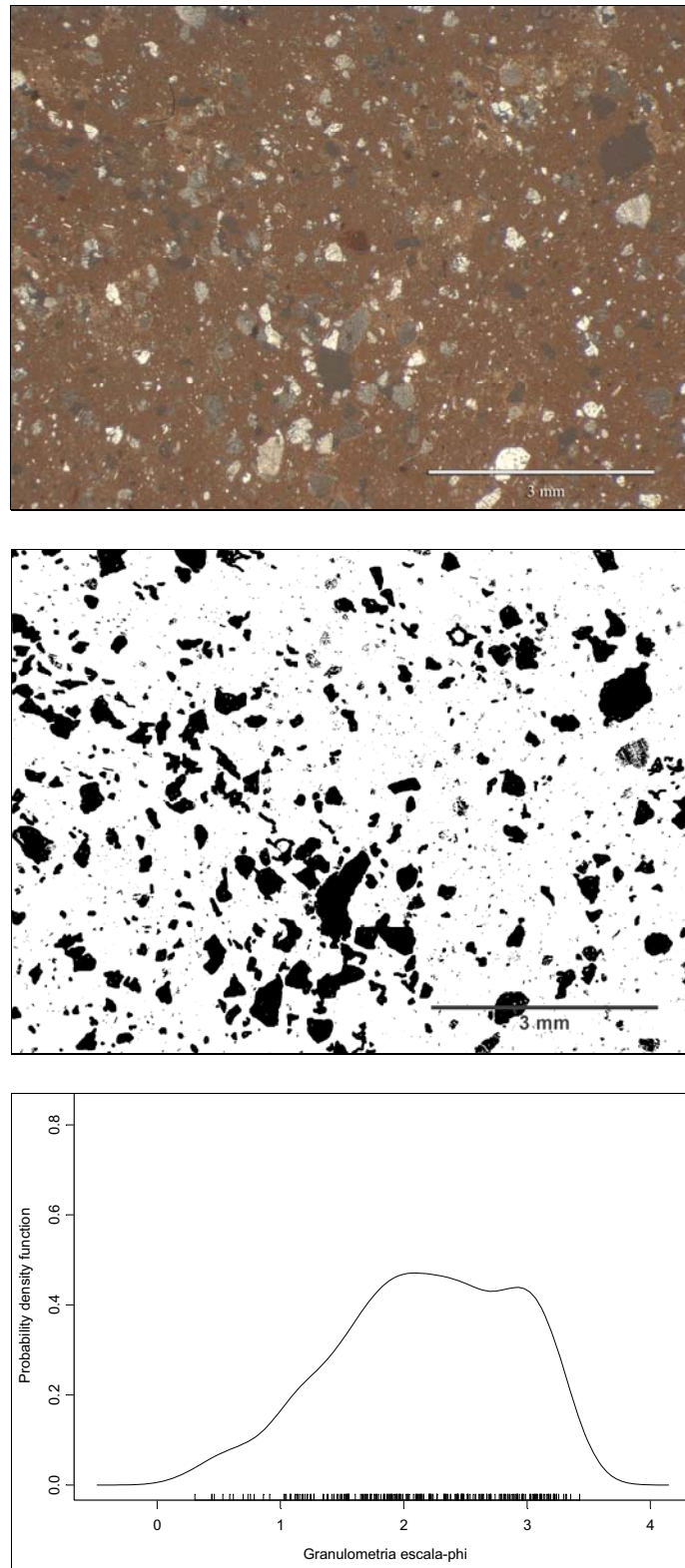


**Figura 72.** Gràfic bivariant dels valors de diàmetre màxim, en eix d'abscisses, i esfericitat, en eix d'ordenades, transformats a escala  $\phi$ .

#### 7.4.3.2 Àmfora Dressel 1

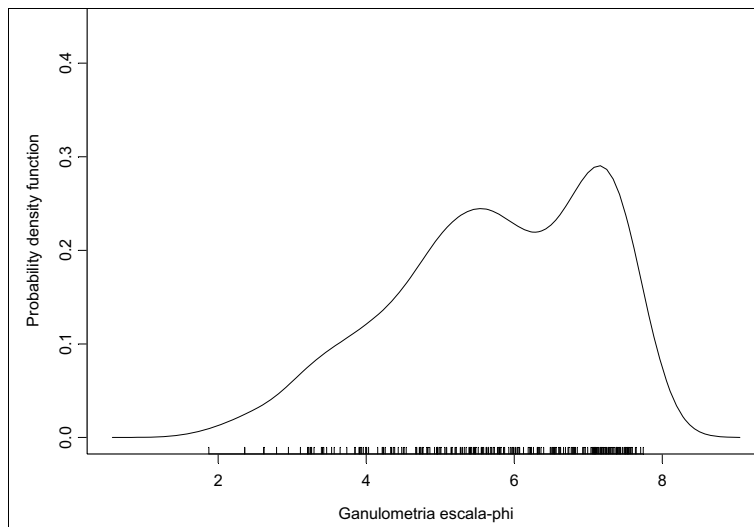
Les anàlisis granulomètriques han estat realitzades sobre tres individus diferents del tipus Dressel 1, dos d'ells procedents de la ciutat romana d'*Iluro* (PAL061, PAL063) i el tercer d'*Emporiae* (EMP066). En els tres casos, la  $V_f$  estimada és clarament superior als individus d'àmfora ibèrica, variant entre 18.2, 22.3 i 15.7%, respectivament. La Figura 73 (superior i mig) mostra una fàbrica representativa dels individus Dressel 1 analitzats, corresponent a l'individu PAL061. Les diferències respecte l'anterior

individu d'àmfora ibèrica són clares i manifestes amb una simple observació de la microfotografia sobre làmina prima, així com de la seva representació en blanc i negre. L'àmfora Dressel 1 exhibeix una fàbrica de factura més grollera, amb inclusions d'una mida significativament majors, tot i mostrar curiosament una major frreqüència d'inclusions menys angulars i més arrodonides que en el cas anterior (Taula 26, Annex 1).



**Figura 73. Superior:** Microfotografia sobre làmina prima d'àmfora Dressel 1 (PAL061). L'escala representa 3 mm. **Mig:** Representació en blanc i negre de la microfotografia sobre làmina prima. La fase blanca representa la matriu i la fase negra les inclusions no plàstiques. **Inferior:** Gràfic bivariant d'estimació de la funció de densitat de probabilitat mitjançant el mètode *kernel* de les mesures granulomètriques (diàmetre màxim) transformades a escala  $\phi$ .

En aquest cas, destaca un primer pic de major densitat que agrupa els valors situats aproximadament entre  $3.37-2.6 \phi$  (aproximadament  $96-165 \mu\text{m}$ ), un segon de major densitat situat entre  $2.6-1.2 \phi$  (aproximadament  $165-435 \mu\text{m}$ ), un tercer menys marcat entre  $1.2-1 \phi$  (aproximadament  $435-500 \mu\text{m}$ ) i, finalment, un quart conjunt més dispers entre aproximadament  $0.88-0.28 \phi$  (aproximadament  $545-820 \mu\text{m}$ ) (Figura 73, inferior). Per tant, es constata una diferència significativa pel que respecta la freqüència i la mida de les inclusions de l'àmfora ibèrica i l'àmfora romana Dressel 1. Si bé ambdues presenten una fase principal de sorra fina i molt fina, en el cas de la Dressel 1 són clarament més freqüents les fraccions de sorra mitjana i, especialment, desaca la presència de sorra grossa o granada. Aquestes diferències també es poden apreciar en cas de considerar l'àrea de les inclusions (Figura 74).



**Figura 74.** Gràfic bivariant d'estimació de la funció de densitat de probabilitat mitjançant el mètode *kernel* de les mesures granulomètriques (àrea) transformades a escala  $\phi$  de l'individu PAL061.

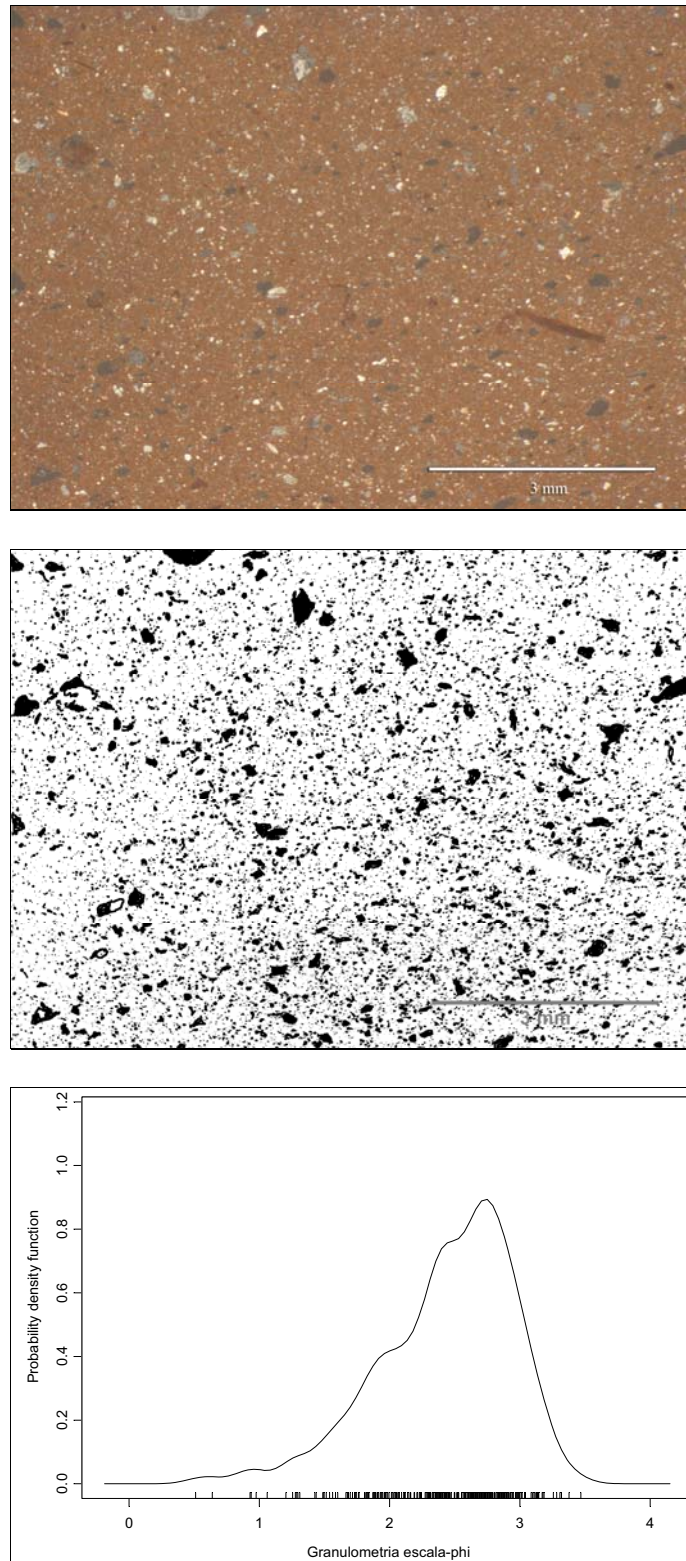
En aquest cas, la tendència vers la bimodalitat és encara més manifesta, amb un pic de màxima densitat que representa el conjunt d'inclusions amb àrees menors, al voltant dels  $5-16 \mu\text{m}^2$ , les quals assumim que seria el material emprat com a base en la

preparació de la pasta, i un segon pic que agrupa inclusions amb àrees aproximadament entre 20-36  $\mu\text{m}^2$ , les quals dominen la imatge en la Figura 73 (superior i mig), i que molt probablement representin el gruix de les inclusions afegides com a desgreixador (format majoritàriament per fraccions de sorra mitjana). Aquests dos conjunts representen aproximadament el 75 % de les inclusions identificades. El 25 % restant mostra una major dispersió, variant des de 36 fins a 253  $\mu\text{m}^2$ .

#### 7.4.3.3 Àmfora Laietana 1/Tarraconense 1

Corresponents al tipus Laietana 1/Tarraconense 1 han estat caracteritzats granulomètricament 3 individus diferents, un procedent del centre productor de Can Notxa (NTX004) i dos procedents del centre productor d'El Mujal (MUJ034, MUJ050). La  $V_f$  estimada per a cada un d'aquests individus és de 13.10, 12.6 i 9.5%, respectivament. En termes generals, aquest tipus d'àmfora romana presenta una fàbrica amb diferències significatives respecte la factura característica de la Dressel 1. Els individus Laietana 1/Tarraconense 1 caracteritzats mostren en tots els casos una mida de les inclusions considerablement inferior a les observades en els individus Dressel 1, generalment de formes subangulars i angulars. El diàmetre mitjà de les inclusions, però especialment l'àrea, és clarament menor (Taula 27, Annex 1) al tipus precedent, el que li confereix una fàbrica d'aparença més fina (Figura 76, superior i mig), similar a l'observada en el tipus ibèric però amb un cert nombre d'inclusions de mides lleugerament superiors. La distribució dels valors de diàmetre màxim transformats a escala  $\phi$  revela com la major part de les inclusions que dominen la microfotografia són les fraccions més fines que presenten uns diàmetres màxims entre 3.43-2.5  $\phi$ , és a dir, 93-177  $\mu\text{m}$  (Figura 75, inferior). A continuació s'observa la presència d'una densitat major de l'esperada en una distribució lognormal entre els valors 2.6-2.5  $\phi$ , el que es correspon a les inclusions que mostren un diàmetre màxim d'aproximadament 177-210  $\mu\text{m}$ . A més, es marca un pic incipient que agrupa valors que, de manera dispersa, es distribueixen fonamentalment entre 2-1  $\phi$ , és a dir, corresponents a inclusions de diàmetre màxim d'entre 250-500  $\mu\text{m}$ , i que representarien, per tant, fraccions de sorra mitjana. Finalment, cal destacar també la presència d'un nombre molt reduït d'inclusions el diàmetre màxim de les quals observable en la microfotografia es podria

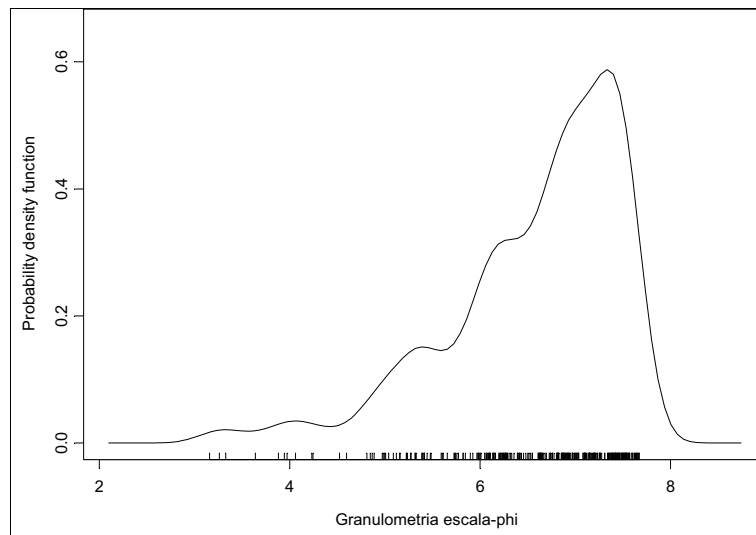
qualificar de sorra grossa o granada, concretament entre uns 525-690  $\mu\text{m}$ . Així doncs, aquesta distribució sembla indicar la presència d'un desgreixador de diferents granulometries, qualificable la major part com a sorra fina i, en menor mesura, de sorra mitja, amb presència puntual de sorra grossa, que probablement hauria estat afegit a la base de la pasta, la qual estaria dominada per fraccions de sorra molt fina.



**Figura 75. Superior:** Microfotografia sobre làmina prima d'àmfora Laietana 1/Tarraconense 1 (MUJ034). L'escala representa 3 mm. **Mig:** Representació en blanc i negre de la microfotografia sobre làmina prima. La fase blanca representa la matriu i la fase negra les inclusions no plàstiques. **Inferior:** Gràfic bivariant d'estimació de la funció de densitat de probabilitat mitjançant el mètode *kernel* de les mesures granulomètriques (diàmetre màxim) transformades a escala  $\phi$ .



Si parem atenció a la distribució dels valors de l'àrea de les inclusions transformats a escala  $\phi$  (Figura 76), podem observar com per a la major part de les inclusions observables en la microfotografia s'estimen unes àrees d'aproximadament 5-15  $\mu\text{m}^2$ , mentre que les fraccions probablement afegides de sorra mitja estarien aproximadament entre 11-68  $\mu\text{m}^2$ , i les fraccions més grans de sorra grossa o granada entre 62-108  $\mu\text{m}^2$  (Taula 27, Annex 1).



**Figura 76.** Gràfic bivariant d'estimació de la funció de densitat de probabilitat mitjançant el mètode *kernel* de les mesures granulomètriques (àrea) transformades a escala  $\phi$  de l'individu MUJ034.

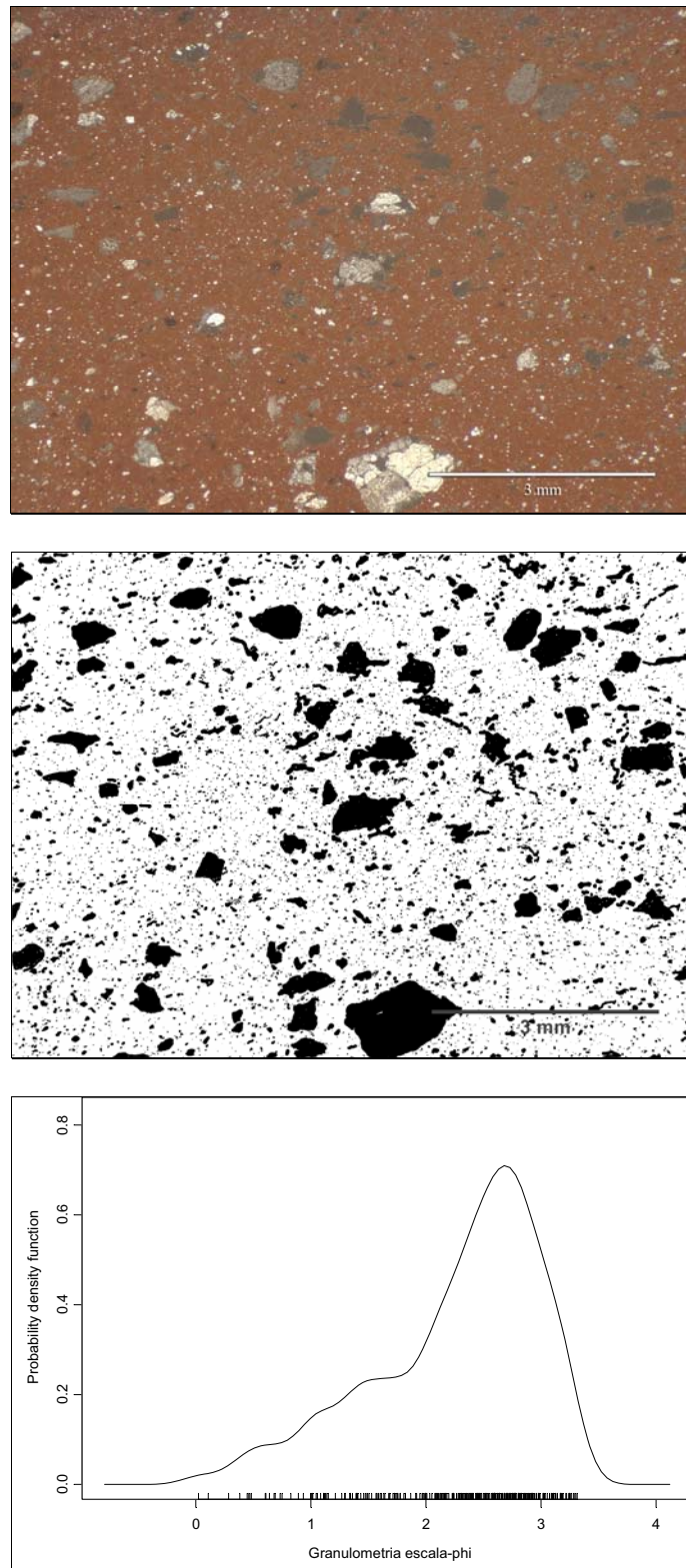
#### 7.4.3.4 Àmfora Pascual 1

Els individus sobre els quals s'han realitzat mesures granulomètriques a partir de l'observació per làmina prima són MUJ003 procedent d'El Mujal, LLA017 procedent de Llafranc, CAL003 i CAL010, procedents del Collet de Sant Antoni de Calonge, PAL090 procedent d'*Iluro* i EMP104 procedent d'*Eporiae*.

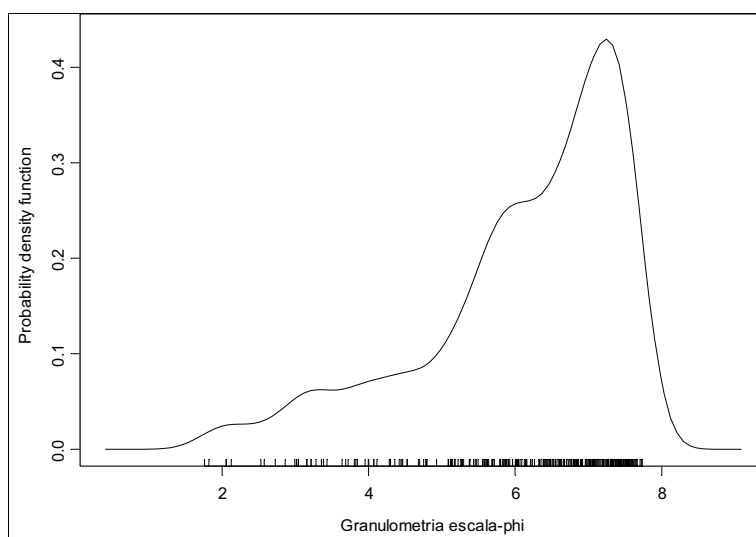
Aquests individus, junt amb els dels tipus Dressel 1 i, com veurem més endavant, Dressel 2-4, són els que mostren una major  $V_f$  d'inclusions no plàstiques de tots els caracteritzats. En aquest cas, per als individus esmentats Pascual 1 s'han estimat una  $V_f$  de 14.9, 15.2, 24.2, 17.6, 15.9 i 20.6%, respectivament.

En la Figura 77 (superior i mig) es pot observar la microfotografia de l'individu MUJ003, representativa de la fàbrica dels tipus Pascual 1 observats. La fàbrica d'aquestes àmfores presenta en tots els casos diferències importants respecte del tipus anterior Laietana 1/Tarraconense 1. Com es pot veure, la microfotografia representativa de la fàbrica de les Pascual 1 està dominada per inclusions de fraccions de sorra mitjana i amb un nombre relativament elevat de sorra grossa o granada. Com en els casos anteriors, les inclusions de major freqüència es corresponen a sorres fines i molt fines —d'una angularitat menor que en els casos anteriors—, sobre les quals s'assumeix que probablement ja serien presents en la pasta. A partir d'aquesta base, com així ho sembla indicar la forma del gràfic d'estimació de la densitat de probabilitat del diàmetre màxim de les inclusions transformat a escala  $\varphi$  (Figura 77, inferior), s'haurien afegit les inclusions més grolleres corresponents a sorres mitjanes i granades que són, com ja hem apuntat, les de major superfície. Aquestes inclusions representen aproximadament el 30% de totes les que han estat identificades. Així, els canvis més importants que s'observen en els pics de densitat se situen aproximadament entre  $2-1 \varphi$  i entre  $1-0.03 \varphi$ , el que es correspon a les inclusions d'un diàmetre màxim d'entre  $250-500 \mu\text{m}$  i  $500-982 \mu\text{m}$ , respectivament.

En relació a l'àrea estimada per a les inclusions (Figura 78), els valors obtinguts varien entre  $7.64$  i  $1.85 \varphi$ , és a dir, aproximadament entre  $5$  i  $277 \mu\text{m}^2$ . Es pot observar com la major densitat de les inclusions es corresponen amb les àrees més baixes i, per tant, a les fraccions més fines. A continuació, es detecta un pic incipient que se situa arpximadament entre  $6.4$  i  $5 \varphi$  que agrupa un conjunt d'inclusions amb uns valors d'àrea entre  $12-31 \mu\text{m}^2$ , de les quals aproximadament un 38% es corresponen a sorres fines i el la resta majoritàriament a sorres mitjanes. També cal destacar d'un conjunt important d'inclusions d'unes àrees entre  $93-169 \mu\text{m}^2$ , que són les responsables del pic que apareix aproximadament entre els valors  $3.5-2.5 \varphi$ .



**Figura 77. Superior:** Microfotografia sobre làmina prima d'àmfora Pascual 1 (MUJ003). L'escala representa 3 mm. **Mig:** Representació en blanc i negre de la microfotografia sobre làmina prima. La fase blanca representa la matriu i la fase negra les inclusions no plàstiques. **Inferior:** Gràfic bivariant d'estimació de la funció de densitat de probabilitat mitjançant el mètode *kernel* de les mesures granulomètriques (diàmetre màxim) transformades a escala  $\phi$ .



**Figura 78.** Gràfic bivariant d'estimació de la funció de densitat de probabilitat mitjançant el mètode *kernel* de les mesures granulomètriques (àrea) transformades a escala  $\phi$  de l'individu MUJ003.

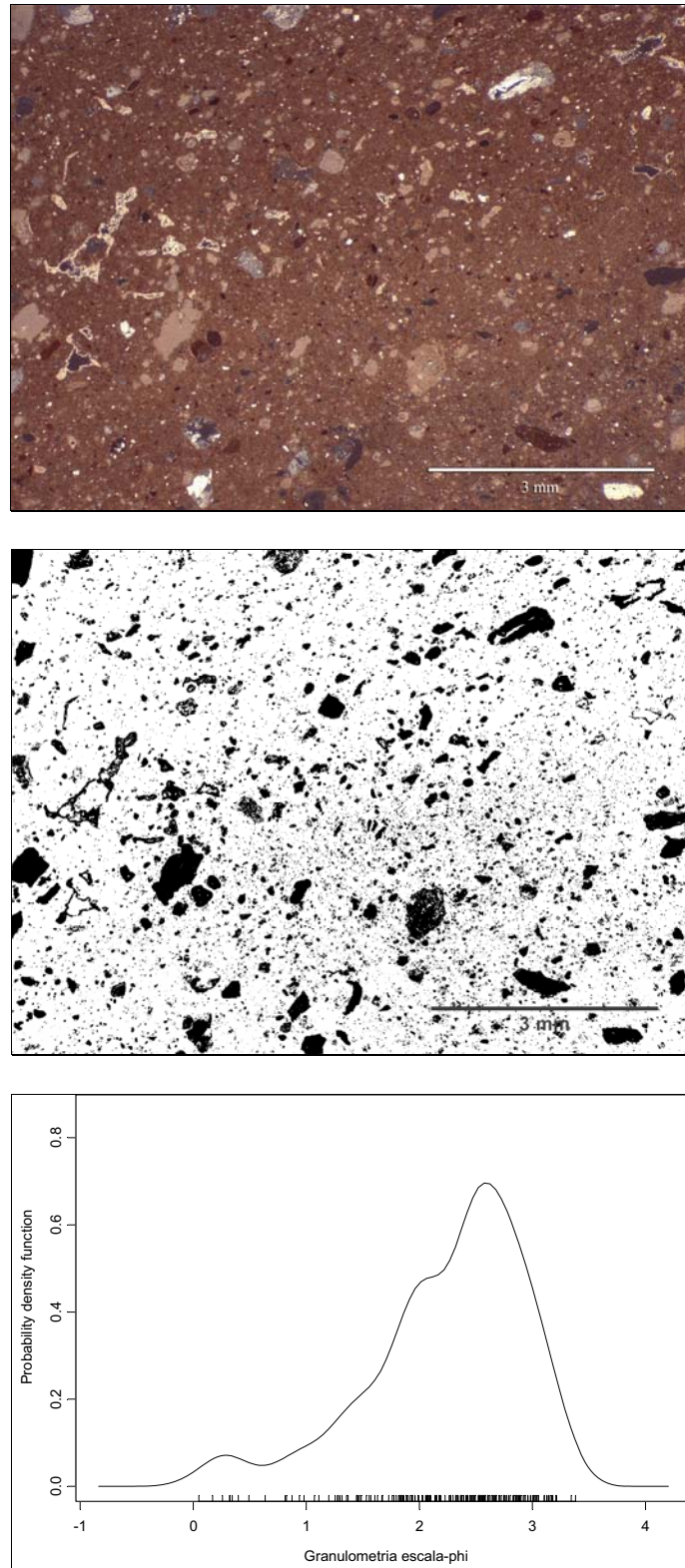
#### 7.4.3.5 Àmfora Dressel 2-4

Corresponents al tipus Dressel 2-4 han estat caracteritzats els individus PLF022 i PLF026, procedents del C/ de Guillem de Palafolls, i els individus FEN049 i FEN050, recuperats en el centre productor de Fenals. La  $V_f$  d'aquests individus ha estat estimada en 18.5, 11.2, 10.6 i 13.4%, respectivament.

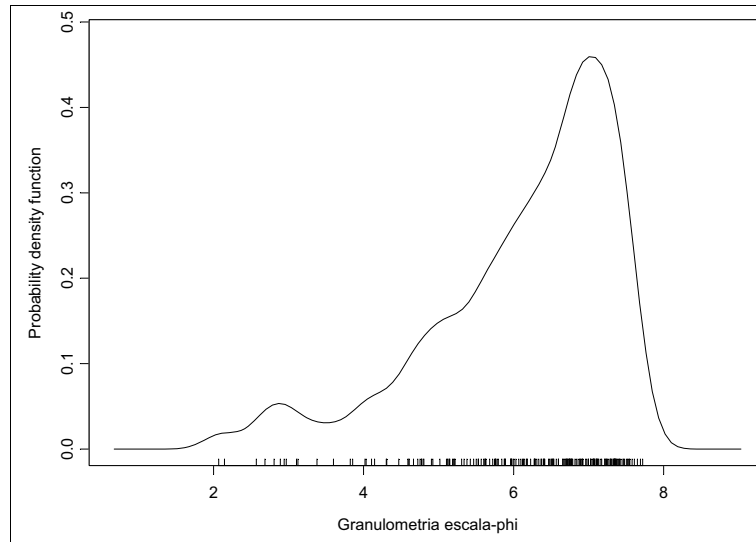
En tots els casos observats corresponents al tipus Dressel 2-4 s'hi observen també indicis d'una addició de desgreixador de mides i freqüències molt similars als casos ja esmentats de Dressel 1 i Pascual 1. Pel que fa al diàmetre màxim de les inclusions no plàstiques observades per MO, es constata una distribució molt similar en els quatre individus. En la Figura 79 (superior i mig) es pot apreciar la factura relativament grollera d'aquestes àmfores, en aquest cas representada per l'individu PLF026. En aquest cas també, la major densitat de les inclusions es corresponen a les que presenten els valors de diàmetre màxim més baixos, en aquest cas concret entre

3.36-2.20  $\phi$ , és a dir, entre 97-216  $\mu\text{m}$ . A partir d'aquestes mides sembla que hi hauria una adició d'inclusions de granulometries corresponents a sorres mitjanes, com així ho sembla indicar el pic incipient que s'incia aproximadament a 2.20  $\phi$ , el qual agrupa valors que, de manera dispersa, arriben fins aproximadament 500  $\mu\text{m}$ . Finalment, també cal destacar un augment de la densitat esperada al voltant dels valors 0.64-0.003  $\phi$ , que corresponen a inclusions de 640-998  $\mu\text{m}$ . Així doncs, a partir de les observacions per MO sobre làmina prima es desprèn que els tipus Dressel 2.4 caracteritzats mostren que aproximadament un 10% de les inclusions s'identifiquen amb granulometries de sorra molt fina, les quals estarien lligades molt probablement a la pasta base en la preparació de les àmfors. La majoria de les inclusions, concretament el 55%, mostren unes granulometries corresponents a sorres fines. El 50% central dels valors se situen dins d'aquesta categoria. A partir d'aquí, un 30% es correspondrien a sorres mitjanes, mentre que el 5% restant agruparia mides de sorra grossa o granada.

Les àrees de les inclusions mostren una distribució relativament similar a les observades en els casos del tipus Pascual 1. Si es comparen els valors presentats en les Taules 28 i 29 (Annex 1) es veurà com les estadístiques descriptives d'ambdues distribucions presenten valors relativament semblants. En el cas de la Dressel 2-4, l'estimació de la funció de densitat de probabilitat de les àrees transformades a escala  $\phi$  està representada en el gràfic bivariant de la Figura 80. En aquest gràfic es pot veure com els valors de les àrees varien entre 5-239  $\mu\text{m}^2$ . Pel que fa a la freqüència, es calcula que aproximadament el 64% de les inclusions observades mostren unes àrees entre 5-19  $\mu\text{m}^2$ , mentre que el rang 16-62  $\mu\text{m}^2$  agrupa aproximadament un 30% del total de les inclusions observades. El 6% restant agrupa les inclusions d'àrees majors, entre 68-239  $\mu\text{m}^2$ , corresponents en la pràctica totalitat a inclusions de sorra granada.



**Figura 79. Superior:** Microfotografia sobre làmina prima d'àmfora Dressel 2-4 (PLF026). L'escala representa 3 mm. **Mig:** Representació en blanc i negre de la microfotografia sobre làmina prima. La fase blanca representa la matriu i la fase negra les inclusions no plàstiques. **Inferior:** Gràfic bivariant d'estimació de la funció de densitat de probabilitat mitjançant el mètode *kernel* de les mesures granulomètriques (diàmetre màxim) transformades a escala  $\phi$ .



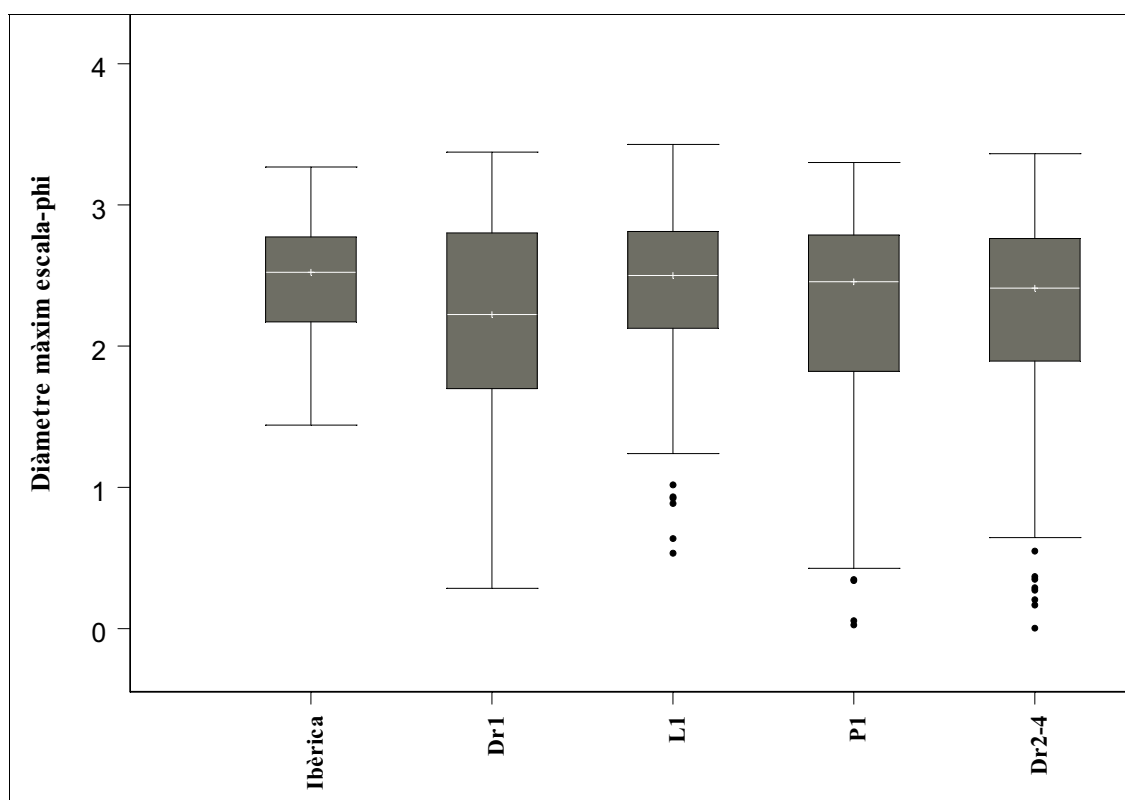
**Figura 80.** Gràfic bivariant d'estimació de la funció de densitat de probabilitat mitjançant el mètode *kernel* de les mesures granulomètriques (àrea) transformades a escala  $\phi$  de l'individu PLF026.

#### 7.4.3.6 Discussió

Les diferències observades en la mida, forma i freqüència de les inclusions no plàstiques en els cinc tipus amforals caracteritzats permeten suggerir que aquests envasos podrien haver manifestat diferents comportaments i competències. Primer de tot cal precisar dos aspectes. D'una banda cal dir que, en relació a les inclusions no plàstiques, les possibles eleccions preses durant el procés de manufactura podrien respondre a una multiplicitat de factors. Certament, les diferències observades, per exemple, entre l'àmfora Ibèrica i el tipus Dressel 1 afecten directament les competències visuals dels envasos, les quals, alhora, poden estar condicionades per un camp d'actuació tècnic, però també simbòlic, social i econòmic. Tenint això present, aquesta part del discurs se centra exclusivament en les possibles diferències relacionades amb les competències de tipus tècnic i, per tant, relacionades fonamentalment amb el vessant utilitari de l'àmfora. D'altra banda, també cal precisar que, si bé qualsevol tipus de competència tècnica és una funció de

diversos factors, en aquest punt només es consideren algunes implicacions tecnològiques relacionades amb les inclusions no plàstiques, sense considerar, per ara, el gruix de les parets, la forma específica de l'envàs, o la seva composició química, per esmentar només algunes de les altres variables que afecten el comportament d'una ceràmica. Aquestes consideracions s'han d'entendre, doncs, com una primera aproximació a les característiques tecnològiques dels envasos amb atenció exclusiva a les inclusions no plàstiques.

En primer lloc, els resultats obtinguts indiquen un canvi significatiu en les inclusions no plàstiques presents, d'una banda, en les àmfores ibèriques i, d'altra, en els dissenys romans. Tanmateix aquest canvi no es manifesta de manera homogènia en tant que no tots els dissenys mostren les mateixes característiques. Les dades corresponents al diàmetre màxim de les inclusions permeten il·lustrar clarament aquestes diferències.



**Figura 81.** Gràfics de caixa i bigotis de les mesures granulomètriques (diàmetre màxim) transformades a escala  $\phi$  dels individus representatius dels tipus d'àmfora Ibèrica, Dressel 1, Laietana 1/Tarraconense 1, Pascual 1 i Dressel 2-4. Categories segons escala Wentworth dels valors  $\phi$ : 4-3=sorra molt fina; 3-2=sorra fina; 2-1=sorra mitjana; 1-0=sorra grossa o granada.



La Figura 81 mostra els gràfics de caixa i bigotis dels valors obtinguts en el càlcul del diàmetre màxim de les inclusions identificades en cada tipus amforal transformats a escala  $\phi$ . Com queda ben palès en els gràfics, l'àmfora ibèrica es diferencia de la majoria de les àmfores romanes per una fàbrica relativament més fina, amb una menor  $V_f$  (estimada per sota del 10%) i inclusions de mides més petites. Tanmateix, aquesta fàbrica presenta relatives similituds, pel que respecte la mida i freqüència de les inclusions, amb la del tipus Laietana 1/Tarraconense 1, la qual és, de tots els tipus d'àmfora romana caracteritzats, la que en tots els casos observats mostra una factura més fina, amb la menor  $V_f$  estimada (al voltant del 10%). Aquestes característiques específiques que mostra el tipus Laietana 1/Tarraconense 1 respecte els altres dissenys romans també han estat constatades per Martínez (2008).

En tots els individus considerats sembla molt probable que una part de les inclusions haurien estat afegides a la fase argilosa de la pasta; per tant es podria parlar pròpiament de desgreixador, seguint la definició assumida al començament d'aquest apartat. En els casos concrets de l'àmfora ibèrica i en els individus del tipus Laietana 1/Tarraconense 1, una part majoritària de les inclusions es corresponen a sorres molt fines i fines, part de les quals provindrien, molt probablement, de la matèria primera que hauria format part de la base de la pasta, mentre que un percentatge minoritari (sempre >25%) sembla estar conformada per sorra mitjana, si bé, en alguns casos de Laietana 1/Tarraconense 1, també s'hi observen inclusions puntuals de granulometries que entrarien en la categoria de sorra grossa.

Per la seva banda, els individus corresponents als tipus Dressel 1, Pascual 1 i Dressel 2-4 mostren una factura més grollera amb una  $V_f$  estimada (aproximadament entre 15-20%) que en tots els casos és superior a la dels tipus d'àmfora ibèrica i Laietana 1/Tarraconense 1. Això és degut, en part, a que bona part de les inclusions són de mides majors. Com es pot veure en la Figura 81, mentre que el 50% central dels valors dels tipus d'àmfora ibèrica i Laietana 1/Tarraconense 1 es corresponen exclusivament a granulometries de sorra fina, en els tipus Dressel 1, Pascual 1 i Dressel 2-4, una bona part d'aquest 50% central està representat per sorres mitjanes. A més, en aquests tres tipus és clara l'addició de desgreixador de sorra grossa.

Aquestes diferències en la mida de les inclusions podrien tenir importants

implicacions tecnològiques. Una de les funcions del desgreixador és la d'augmentar la consistència de la pasta, especialment important durant els processos d'asseccament i cocció. L'evaporació de l'aigua afegida a la pasta per potenciar la seva plasticitat provoca una contracció del volum de la peça. Aquesta contracció pot causar l'aparició de fractures, molt especialment en els casos en què no hi ha hagut un procés acurat de preparació i pastat. A més, aquesta aparició de fractures a causa de la contracció tindria més incidència, sota les mateixes condicions, en les formes més angulars. L'evaporació de l'aigua, que s'inicia a temperatura ambient abans de la cocció de la peça, des de l'interior a l'exterior de la peça. Així, una fàbrica més grollera tindrà una menor proporció d'aigua i una millor acció capil·lar respecte d'una fàbrica més fina, facilitant que l'asseccament de la peça es produeixi amb menys temps i reduint el grau de contracció.

Un altre dels aspectes més rellevants que, des del punt de vista tècnic, està condicionat per la mida, forma i freqüència de les inclusions no plàstiques és la resistència mecànica a la fractura (Kilikoglou *et al.* 1998). Sota unes mateixes condicions, una pasta amb inclusions més fines gaudirà d'una major resistència a la fractura que una fàbrica més grollera; l'expansió de les inclusions no plàstiques durant l'augment de temperatura provoca l'aparició de microfractures en la interfície amb la fase argilosa, les quals actuen com a concentradores d'estrès. En aquest sentit, com menor sigui la mida de les inclusions, menor serà la probabilitat d'aparició de fractures.

Finalment, la resistència d'una ceràmica també està relacionada amb la manera en què les partícules estan lligades entre sí. Una major angularitat de les inclusions, com seria especialment el cas de la Laietana 1/Tarraconense 1, proporcionaria un millor lligam amb les partícules plàstiques, car es redueix la relliscada entre partícules, augmentat així la resistència del material. Contràriament, les inclusions menys angulars no milloren la resistència, però permeten, en termes generals, un millor assecament de la peça, reduint els problemes lligats a la contracció, en tant que facilitar la circulació d'aire entre les partícules. Així, les sorres més angulars proporcionarien una major resistència amb menys volum d'inclusions que no pas grans més circulars.

Com ja hem esmentat al començament, aquestes consideracions s'han d'entendre com una primera aproximació a les possibles implicacions tecnològiques que

tindrien les diferències observades en la granulometria dels diferents tipus amforals. Certament, aquest estudi no es pot entendre sinó com una primera aproximació en tant que el nombre limitat d'individus caracteritzats. Aquesta mostra s'hauria d'ampliar en el futur per corroborar les observacions realitzades.

En l'apartat següent es tractarà el mòdul de ruptura i la resistència mecànica a la fractura de diferents tipus amforals, el que permetrà constatar la concordança amb algunes de les implicacions tecnològiques esmentades.

#### **7.4.4 Propietats mecàniques. Resistència a la fractura**

L'estudi de la resistència a la fractura d'un envàs ceràmic requereix considerar, com a mínim, dos factors. D'una banda, cal distingir entre la resistència a la fractura del material —la ceràmica, en sentit estricte— del que és el límit de fallida de tot l'envàs, en tant que aquest és una funció, no sols de les propietats del material, sinó també del gruix de les parets, de la forma específica de la peça i del tipus de força aplicada. Aquesta distinció, d'altra banda, concorda amb la necessitat de diferenciar, en el context d'un estudi de canvi tecnològic, les propietats físiques de l'artefacte del que serien les seves competències, les quals no poden ser avaluades sinó en el context d'una interacció específica. En aquest sentit, en aquest apartat es presenten els resultats de l'estudi preliminar de les propietats mecàniques de les ceràmiques. L'estudi de les competències tècniques de les àmfores serà completat en el Capítol 9 on se simularan, mitjançant l'Anàlisi d'Elements Finitos (AEF), diverses condicions d'ús, considerant conjuntament les propietats físiques i la geometria completa de l'envàs.

##### *7.4.4.1 Resistència a la fractura Hertziana ( $\sigma_H$ ) i resistència a la ruptura transversal (TRS): Comparació de resultats*

Així com s'ha exposat en l'apartat 5.6.1, la disponibilitat d'una quantitat limitada de mostra ceràmica només ha fet possible la preparació dels espècimens necessaris per als tests de resistència a la ruptura transversal (TRS) en un nombre reduït d'individus. Així, l'estudi de la resistència a la fractura s'ha realitzat a partir del càlcul de la resistència a la fractura Hertziana ( $\sigma_H$ ) (Vekinis i Kilikoglou 1998), en tant que per a realitzar aquest test es requereixen d'uns espècimens de dimensions i geometries més fàcils

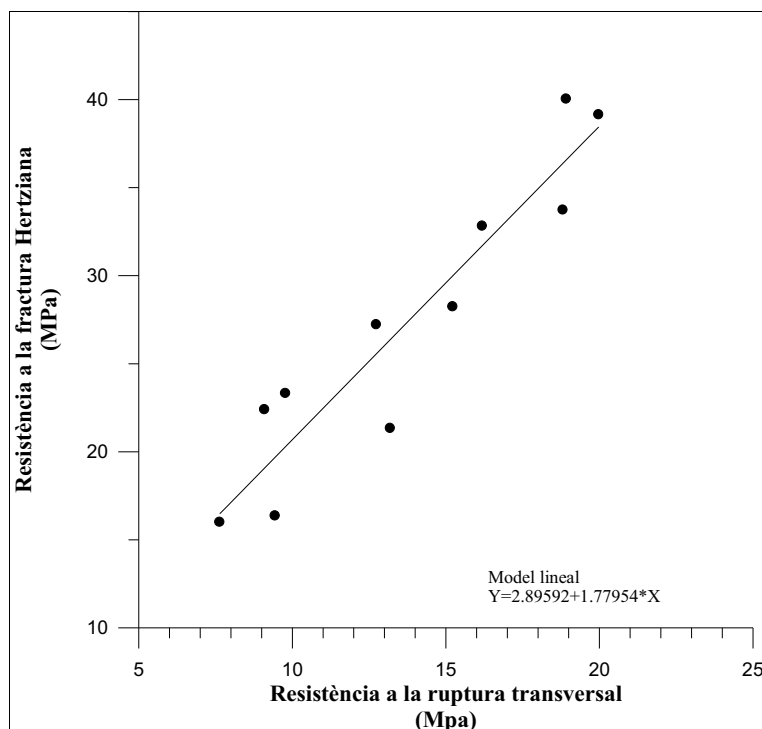
d'aconseguir a partir dels fragments disponibles de ceràmica arqueològica.

El test de resistència a la fractura Hertziana ha estat realitzat sobre un total de 53 individus procedents dels centres productors de Can Notxa (n=5), El Mujal (n=20), C/ de Guillem de Palafolls (n=6), Fenals (n=3), Collet de Sant Antoni de Calonge (n=2), Llafranc (n=7), i dels centres receptors d'*Iluro* (n=5) i *Emporiae* (n=5) (Taula 30, Annex 1). De manera complementària, en un total de 13 individus també ha estat possible efectuar, a més, el càlcul de la TRS (Taula 31, Annex 1). D'aquesta manera ha estat possible estimar la correlació entre els resultats obtinguts mitjançant els dos mètodes (Taula 32, Annex 1).

Una primera anàlisi de regressió lineal simple considerant els resultats dels 13 individus testats amb els dos mètodes dona com a resultat una correlació de 0.159315 (R-quadrada=2.53812%). Aquesta baixa correlació és deguda a que dos dels valors obtinguts en els tests de resistència a la fractura Hertziana (concretament els corresponents als individus FEN023 i PAL076) són anormalment baixos, en comparació als resultats obtinguts en els tests de TRS. La causa que explica aquests valors tan baixos és l'existència de petites irregularitats en el nucli central dels espècimens, les quals ha estat impossibles d'ésser corretgides, i que ha provocat la fallida complerta del disc al poc d'aplicar-hi la càrrega de test. Per tant, aquests valors s'han de considerar que responen a la poca idoneïtat d'ambdós espècimens per a ésser testat i que, en cap cas, es poden considerar com a representatives de la resistència a la fractura del material. En aquest cas, el valors més representatiu de les propietats d'aquestes àmfores són els respectius valors mitjans dels obtinguts en el càlcul de la TRS (veure Taula 31, Annex 1).

Una segona anàlisi de regressió lineal, ara sense considerar aquests individus, resulta en una correlació de 0.93838 (R-quadrada=88.05%) (Taula 32, Annex 1), el que suggereix un bon ajustament entre els resultats obtinguts mitjançant ambdues tècniques. El gràfic bivariant de la Figura 82 il·lustra clarament aquesta bona correlació. Com es pot veure en les dades exposades en la Taula 32 (Annex 1), els individus que mostren els valors majors, tant de TRS com de  $\sigma_H$ , corresponen a tres individus del tipus Laietana 1/Tarraconense 1 procedents del centre productor de Can Notxa (NTX002, NTX004, NTX007), mentre que els individus amb els valors més baixos es corresponen

a dos individus Pascual 1 (MUJ005, MUJ007) i un Laietana 1/Tarraconense 1 (MUJ037) procedents d'El Mujal. Una de les causes d'aquestes diferències està en les temperatures de cocció equivalents (TCE) dels individus. Per als individus de Can Notxa, les TCE han estat estimades entre 850-950°C, per a l'individu NTX002, i entre 900/950-1000°C per als altres dos, mentre que per als individus d'El Mujal s'han estimat per sota dels 850°C, o bé lleugerament per sobre en el cas de l'individu MUJ007. Aquests valors de resistència mecànica a la fractura estan en concordança amb els obtinguts per Martínez (2007) mitjançant el càlcul de la TRS sobre una mostra d'àmfores romanes de característiques similars als envasos estudiats en aquesta tesi, per bé que són considerablement inferiors als obtinguts per Vekinis i Kilikoglou (1998) en l'estudi de quatre individus d'àmfora púnica.



**Figura 82.** Gràfic bivariament amb els valors de resistència a la ruptura transversal, en absccises, i de resistència a la fractura Hertziana, en ordenades, d'11 individus testats mitjançant els dos mètodes, amb la corresponent recta de regressió.

Finalment, els valors de TRS varien entre 7.63393 MPa i 25.6126 MPa, amb un valor mitjà de 14.4901 i una desviació estàndard de 5.2571. Com es pot observar en la Figura 82, els valors de resistència a la fractura Hertziana són considerablement superiors als obtinguts en el càlcul de la TRS (veure Taula 32, Annex 1). Com ja ha estat exposat en l'apartat 5.6, el test de TRS mesura la resistència sota una càrrega de tensió, i el valor obtingut depèn altament de la mida del major defectes microestructural presents a la matriu de l'individu testat en l'àrea de màxim estrès —raó per la qual es requereixen diversos espècimens per a aconseguir uns resultats acurats. Per la seva banda, el test de resistència a la fractura Hertziana mesura la resistència sota condicions complexes de compressió-tensió. És per això que, en el cas del test de TRS, l'espècimen es trenca de manera inestable<sup>37</sup> quan l'intensitat de l'estrès existent sobre la major microfractura supera la seva tenacitat a la fractura, mentre que sota càrregues de compressió, la fractura és inicialment estable degut a la lenta propagació de les múltiples fractures generades, i la fallida de l'espècimen esdevé en el punt d'interacció d'aquestes, cosa que succeeix amb major estrès a causa de les restriccions triaxials inherents en el material (Vekinis i Kilikoglou 1998).

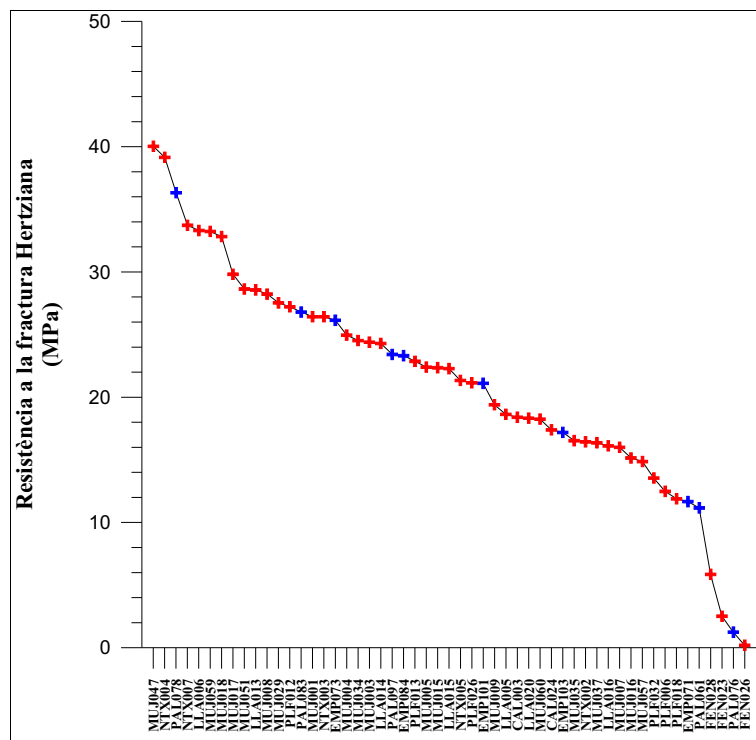
#### 7.4.4.2 Resistència a la fractura Hertziana

Els resultats obtinguts en els tests de resistència a la fractura Hertziana es poden veure en la Taula 30 (Annex 1). Els valors mostren una important dispersió, variant entre 0.199 MPa (FEN026) i 40.032 MPa (MUJ047). No obstant, dos dels valors situats en la part més baixa d'aquesta distribució (1.237 MPa i 2.513 MPa, corresponents respectivament als individus PAL076 i FEN023) són deguts, com ja hem esmentat, a les males condicions específiques dels espècimens per a ésser testats. Deixant de banda aquests valors, els valors obtinguts mantenen una alta variació amb un valor mitjà de 21.7496 i una desviació estàndard de 8.46536. Una de les causes explicatives d'aquesta variació en la resistència de les àmfores testades està en el mecanisme que governa el trencament del material ceràmic. La resistència a la fractura no és una propietat intrínscica del material sinó que depèn fonamentalment de la freqüència i mida de les microfractures i altes defectes microestructurals existents en la seva matriu, en tant que

<sup>37</sup> Veure apartat 1.3.2.1 i Figura 3.

aquests actuen com a concentradors d'estrès i faciliten l'aparició de fractures. Aquests defectes microestructurals poden resultar de la presència d'inclusions en la matriu, però també del procés de preparació de la pasta. Així, la variabilitat en els valors de resistència a la fractura Hertziana estarien en concordança amb la caracterització química dels envasos, on es despenia l'existència d'una multiplicitat de grups, caracteritzats per una variabilitat química relativament alta, molt probablement com a resultat, en part, d'un procés de preparació de les pastes poc estandarditzat.

La variació dels resultats obtinguts queda il·lustrada en la Figura 83 on es presenten els valors de resistència a la fractura Hertziana ordenats en rang descendent. Els valors que apareixen indicats amb una creu de color vermell corresponen a individus recuperats en centres productors, mentre que les creus de color blau representen individus procedents de centres receptors.



**Figura 83.** Gràfic bivariant dels individus caracteritzats, en absceses, ordenats per rang descendent en funció dels valors de resistència a la fractura Hertziana, en ordenades. Les creus de color vermell representen els individus procedents de centres productors i les de color blau els individus procedents de centres receptors.

Es pot observar que els quatre individus que destaquen per mostrar els valors de resistència a la fractura Hertziana majors de tot el conjunt caracteritzat (MUJ047, NTX004, PAL078, NTX007) corresponen al tipus Laietana 1/Tarraconense 1. A més, és interessant observar com aquests individus no tenen una mateixa procedència, sinó que representen diferents centres productors (Can Notxa i El Mujal) i un centre receptor (*Iluro*). L'explicació d'aquest valors relativament alts de resistència a la fractura està, molt probablement, en la fàbrica relativament fina d'aquests individus així com en les temperatures de cocció equivalent (TCE). En tots els casos es tracta de ceràmiques poc calcàries, amb uns continguts en CaO (en dades normalitzades) d'1.26, 3.75, 4.18 i 4.15%, respectivament. L'observació per lupa biocular mostra una factura similar en els quatre casos, un dels quals (NTX004) ha estat caracteritzat granulomètricament i per al qual s'estima una  $V_f$  d'inclusions no plàstiques de 13.10%. D'altra banda, la TCE estimada per aquests individus se situa, en tots els casos, per sobre dels 850-950°C.

A l'altre extrem de la distribució també hi destaquen quatre individus amb els valors clarament més baixos de tot el conjunt testat. A excepció feta dels individus PAL076 i FEN023, el baix valor dels quals, com ja hem dit, no es pot considerar representatiu del material, en l'extrem de la gràfica destaca la presència de dos individus Pascual 1 procedents del centre productor de Fenals (FEN026 i FEN028). La baixa resistència d'aquests individus és de difícil interpretació. Certament, ambdós individus presenten unes TCE baixes, inferiors als 850°C, per bé que també s'hauria de contemplar la possibilitat que algun procés d'alteració hagués afectat a aquests individus durant el període postdeposicional, modificant les seves característiques originals.

Si se centre l'atenció en els individus procedents dels centres productors (Figura 83, creus vermelles), es constata que, en general, no es pot establir cap relació clara entre la resistència dels individus i la seva procedència. En tots els casos considerats, s'observen resistències a la fractura que varien des de valors baixos fins a valors alts —a excepció feta del cas de Fenals, com a conseqüència de les peculiaritats esmentades anteriorment. Aquesta situació concorda amb els resultats obtinguts en tant en la caracterització química com en l'estimació de les TCE, on es constata l'existència d'una gran variabilitat de pastes, però també de TCE en els conjunts procedents dels



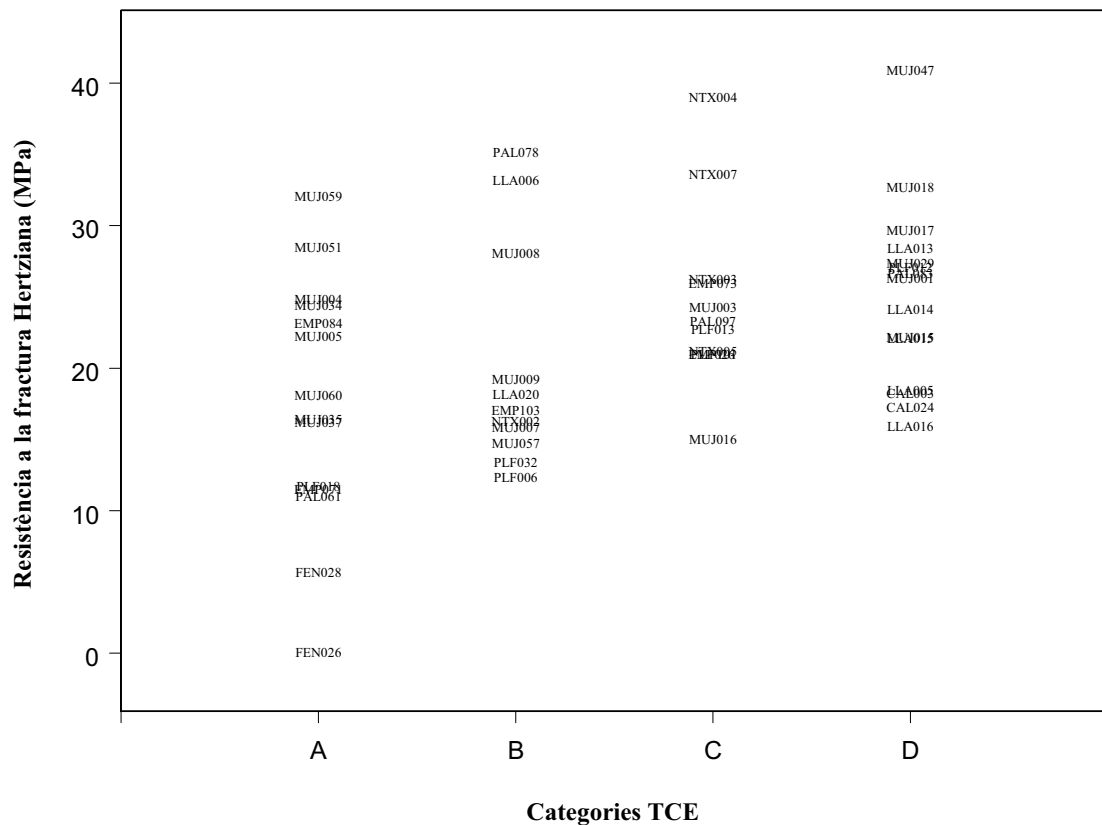
centres productors, cosa que s'hauria de reflectir, com així succeeix, amb una diversitat de resistències a la fractura. D'altra banda, tampoc s'observa cap relació clara entre la resistència de les àmfores i el seu disseny formal, pel que respecta les produccions d'un mateix taller. Així, en el cas concret de Can Notxa, la resistència calculada per a l'individu Pascual 1 (NTX003) se situa en un valor intermig amb els exhibits pels quatre individus restants corresponents al tipus Laietana 1/Tarraconense 1. En el cas d'El Mujal, tant les Laietana 1/Tarraconense 1 com els Pascual 1 recorren un rang molt similar de valors de resistència a la fractura, com també succeeix en el cas del C/ de Guillem de Palafolls amb els tipus Pascual 1 i Dressel 2-4. No obstant això, en termes generals sí que queda de manifest que els individus amb major resistència corresponen al tipus Laietana 1/Tarraconense 1, molt probablement a causa de presentar una fàbrica amb menor quantitat d'inclusions no plàstiques i d'haver assolit una bona temperatura de cocció. En aquest sentit, la fàbrica aparentment més fina d'aquests àmfores, junt al fet de tenir un volum clarament menor al de la resta de tipus, hauria permès aconseguir uns productes satisfactoris, en termes de propietats mecàniques, amb menor TCE en comparació a les fàbriques més grolleres dels altres dissenys.

En quant als individus procedents dels centres receptors (Figura 83, creus blaves) es constata, com també succeïa amb l'estimació de les TCE, una tendència similar a l'observada en els centres productors. Així doncs, en el cas dels individus testats d'*Iluro* (deixant de banda l'individu PAL076) i d'*Emporiae*, mostren tant valors alts com baixos de resistència a la fractura, per bé que els valors més alts, en ambdós casos, estan associats al tipus Laietana 1/Tarraconense 1.

La relació de les TCE dels individus testats amb els corresponents valors de resistència a la fractura Hertziana indica que un dels paràmetres que haurien servit per tenir un cert control sobre les propietats d'aquestes àmfores hauria estat precisament la temperatura de cocció. En la Figura 84 apareixen els individus testats en funció del respectius valors de resistència i de la TCE estimada. En aquest cas, s'han establert quatre categories (A, B, C, D) d'acord amb els rangs de temperatures en què es produeixen els canvis més importants en relació a les propietats mecàniques de les ceràmiques (veure per exemple, Kilikoglou *et al.* 1998). Aquesta gràfica demostra que, en aquest cas concret de les àmfores i malgrat la gran variació observada, es corrobora

la relació existent entre la TCE d'una ceràmica i la seva resistència a la fractura; es pot veure com l'augment de la temperatura de cocció permet aconseguir uns productes que, de mitjana, gaudeixen d'una major resistència a la fractura. D'altra banda, també es pot veure com els individus amb valors més alts de resistència a la fractura Hertziana i que, per tant, es localitzen en la part superior de cada una de les quatre columnes que dibuixa la gràfica, corresponen en la pràctica totalitat al tipus Laietana 1/Tarraconense 1.

A partir de les dades exposades fins el moment es desprèn que, pel que fa al procés de producció dels envasos en estudi, no sembla que hi hagués un intent de mantenir constants unes propietats mecàniques determinades o, més concretament, sembla que aquestes propietats podien moure's en un rang relativament ampli. Aquest fet sembla corroborar-se pel fet que els individus dels centres receptors, per als quals s'assumeix que haurien superat satisfactòriament el criteri d'idoneïtat establert en la producció, així com, molt especialment, el de l'adquisició o consum i la distribució, presenten també uns valors de resistència molt variables —des de valors baixos (11.166 MPa) fins a valors alts (36.317 MPa). Aquesta situació concorda perfectament amb els resultats obtinguts en l'estudi de les temperatures de cocció en el qual, en el cas concret dels individus recuperats en centres receptors, s'hi observava una variació important, oscil·lant majoritàriament entre baixes TCE i el que es consideraria un rang de bona cocció 900/950-1000°C.



**Figura 84.** Gràfic bivariant amb la localització dels individus testats en funció de la TCE estimada, en abscesses, i la resistència a la fractura Hertziana, en ordenades. **A**=<850°C; **B**=850-950°C; **C**=900/950-1000°C; **D**=>1000°C. Els individus FEN023 i PAL076 no han estat inclosos (veure text).

En quant al model de propagació de les fractures, els individus testats mostren dos comportaments diferenciats. D'una banda, la majoria dels individus (aproximadament el 73%) mostren la típica corba càrrega-desplaçament característica d'un mode de propagació semiestable (Tite *et al.* 2001: 305), en la qual l'inici de la fractura es marca amb una caiguda accentuada de la corba, quedant arrestada posteriorment. A partir d'aquest punt, la càrrega necessària per augmentar el desplaçament seria progressivament menor, fins a arribar al trencament complet de l'espècimen. Aquest resultat concorda amb els obtinguts per Vekinis i Kilikoglou (1998), els quals observen que, fins i tot en casos on la fracció per volum de les inclusions no plàstiques es podria considerar relativament baix (al voltant de 10%), la

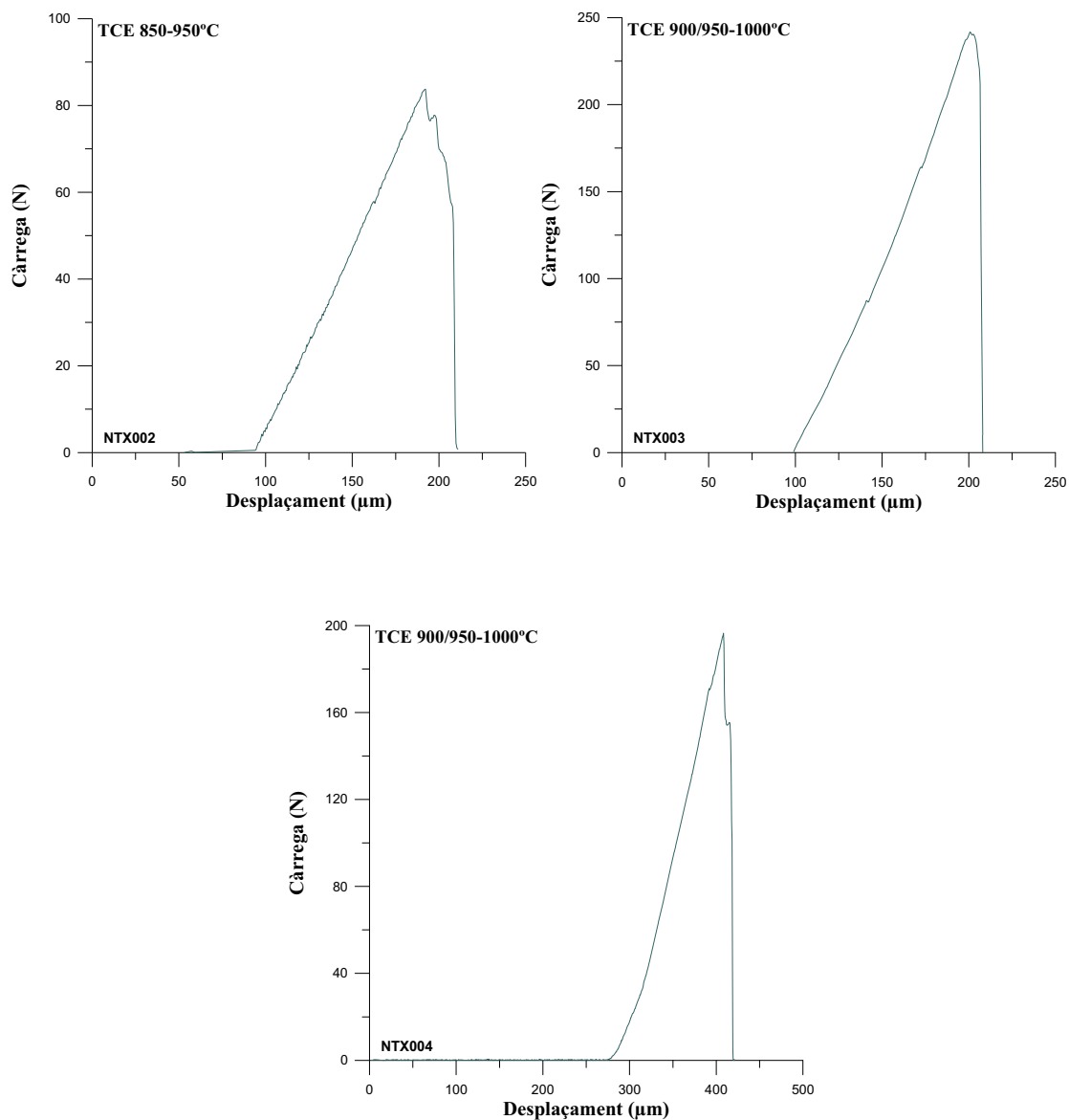
propagació de les fractures segueix paradoxalment un model semiestable. L'explicació és que, en aquest test, la regió estable de la corba càrrega-desplaçament reflecteix diversos mecanismes de dissipació i no exclusivament la dissipació d'energia durant la propagació de la fractura i que, per tant, no permet establir una relació unívoca amb els mecanismes de tenacitat de la ceràmica (Vekinis i Kilikoglou 1998: 284). En qualsevol cas, el treball experimental d'aquests autors indica que aquesta regió estable es redueix considerablement en casos on la  $V_f \leq 10\%$ . En el nostre cas s'observa una certa associació entre aquest mode de propagació i les TCE més baixes.

D'altra banda, el 27% restant dels individus mostren el que seria la típica corba de càrrega-desplaçament d'una propagació inestable la qual indica que, un cop s'assoleix la càrrega màxima que pot suportar el material, la fractura resultant es propaga a través de la matriu sense que hi hagi indicis de cap mecanisme de dissipació d'energia. Per tant, l'inci de la fractura suposa el trencament complert de la ceràmica de manera immediata. En el nostre cas, aquest model de propagació de les fractures s'associa amb els individus que mostren les TCE més altes. Aquest comportament de propagació estaria relacionat, fonamentalment, amb el grau de rigidesa assolit per la matriu d'aquests individus durant la seva cocció. Donat que l'energia requerida per a provocar l'aparició d'una fractura seria relativament major en les ceràmiques cuites a més altes temperatures i, en conseqüència, es produiria una major concentració d'energia en l'àrea de contacte en la superfície de l'espècimen, els possibles mecanismes de dissipació existents, com ara les inclusions no plàstiques, serien insuficients per a deturar la fractura, donant lloc a una propagació inestable.

Els individus testats de Can Notxa mostren, en tots els casos, un model de propagació inestable. La Figura 85 mostra la típica corba de càrrega-desplaçament representativa dels individus testats d'aquest centre productor. Com es pot observar, un cop s'assoleix la càrrega màxima que és capaç de suportar la ceràmica, l'inici de la fractura comporta el trencament complert de l'espècimen de manera pràcticament immediata. Així mateix es pot veure que l'individu NTX002 és el que mostra un major desplaçament entre l'inici de la fractura i el trencament complert de l'espècimen, cosa que s'explicaria, molt probablement, per mostrar la menor TCE (veure Figura 84). A més, d'acord amb les observacions fetes per Vekinis i Kilikoglou (1998: 284) sobre la

regió semiestable resultant d'aquest test, el comportament de les àmfores de Can Notxa concordaria amb la baixa  $V_f$  estimada per a l'individu NTX004 i assumida per a la resta d'individus Laietana 1/Tarraconense 1 d'aquest centre.

La majoria dels individus procedents d'El Mujal mostren una corba càrrega-desplaçament diferent a l'exhibida pels individus de Can Notxa. En la Figura 86 apareixen els gràfics representatius dels individus Pascual 1 d'aquest centre, els quals



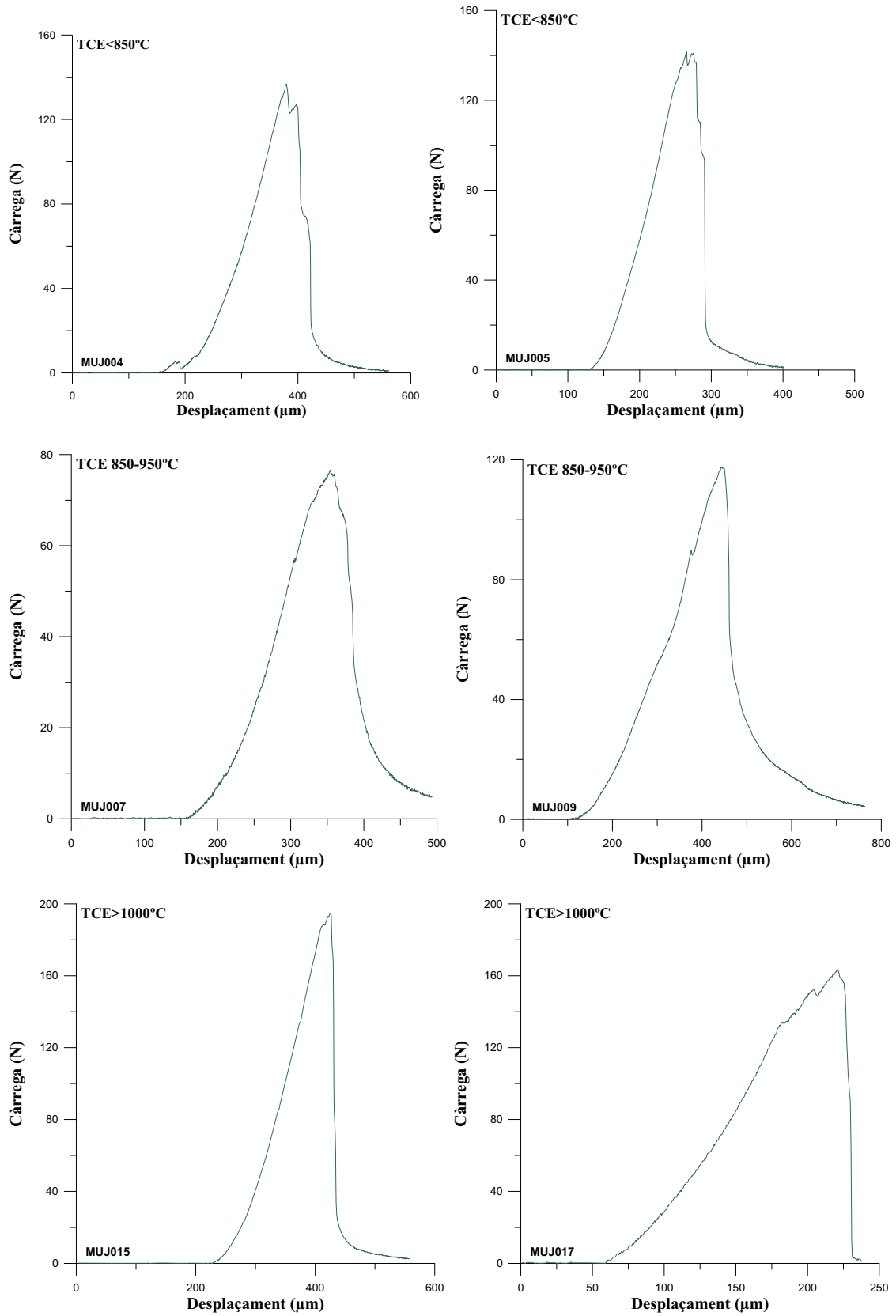
**Figura 85.** Corba càrrega-desplaçament resultant del test de resistència a la fractura Hertziana dels individus NTX002, NTX003 i NTX004.

permeten il·lustrar la relació que s’observa entre el mode de propagació de les fractures i les TCE dels individus ceràmics. En aquest cas les gràfiques estan ordenades de menor a major TCE, de manera que per als individus MUJ004 i MUJ005 s’han estimat unes TCE inferiors als 850°C, per als individus MUJ007 i MUJ009 entre 850-950°C, i per als individus MUJ015 i MUJ017 superiors als 1000°C. Així, els individus amb majors TCE, en aquest cas MUJ015 i, especialment, MUJ017, són els que presenten una menor regió semiestable o estable de la corba càrrega-desplaçament.

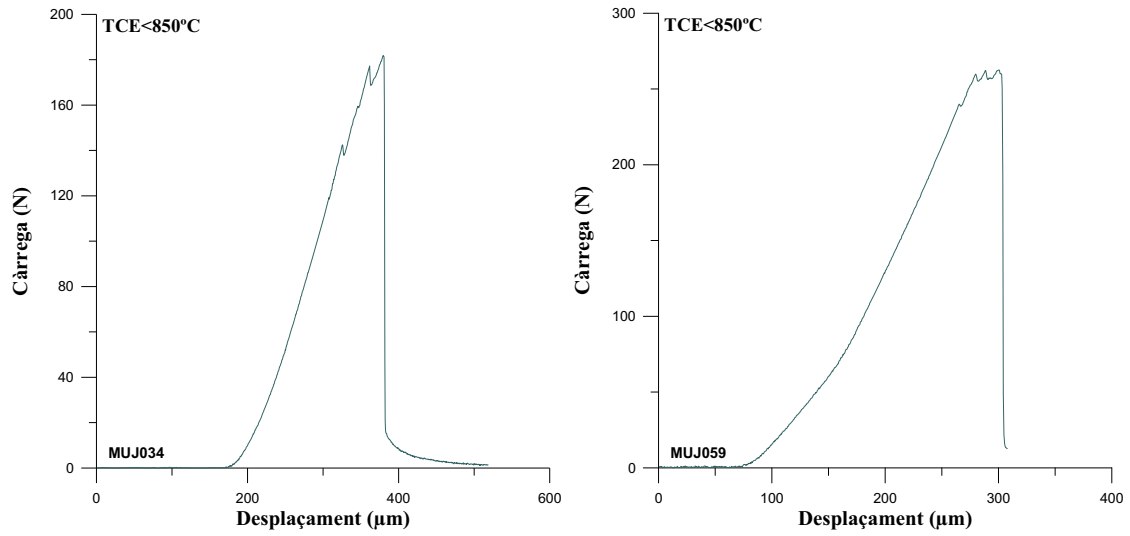
En el cas de les Laietana 1/Tarraconense 1, i d’acord amb la relativa baixa  $V_f$  estimada per a aquests individus i el fet que la majoria es caracteritzen per unes baixes TCE, els gràfics resultants dels tests de resistència a la fractura Hertziana mostren una típica regió semiestable de propagació de fractures poc accentuada (Figura 87).

En els individus del C/ de Guillem de Palafolls es constata igualment com l’augment de la TCE s’acompanya d’una disminució de la regió semiestable de la corba càrrega-desplaçament. Aquest comportament apareix il·lustrat amb els gràfics corresponents als individus PLF006, per al qual s’estima una TCE de 850-950°C, i PLF012 per al qual s’estima una TCE superior als 1000°C (Figura 88).

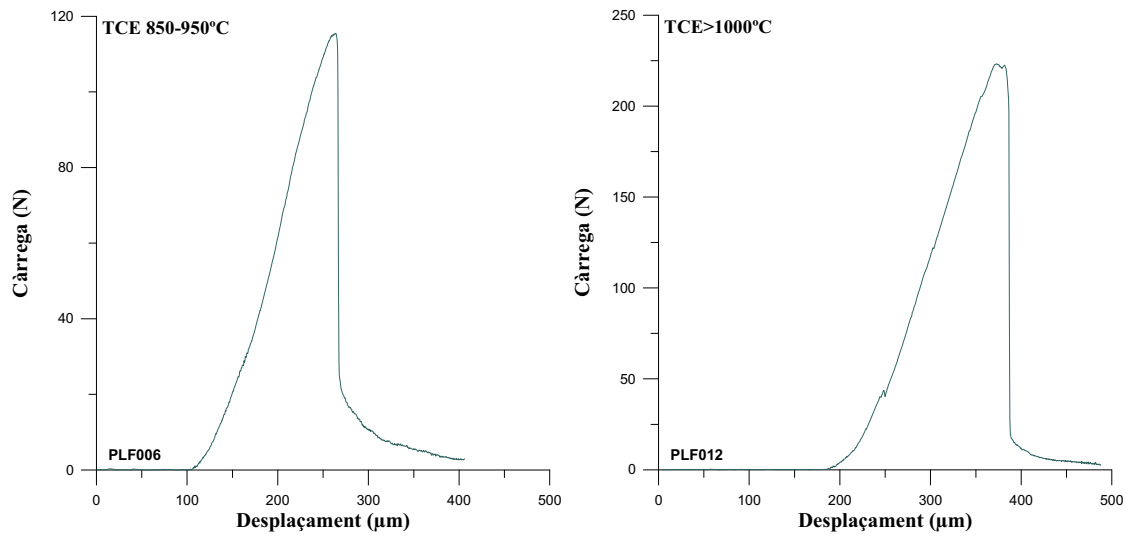
Centrant l’atenció en els individus calcaris procedents de centres productors s’observa un comportament similar en els dos individus testats del Collet de Sant Antoni de Calonge (CAL003 i CAL024); ambdós mostren una resistència similar a la fractura Hertziana (18.392 i 17.390 MPa, respectivament), així com un model de propagació de la fractura pràcticament idèntic, amb una petita regió semiestable en la corba de càrrega-desplaçament (Figura 89). Per la seva banda, els individus de Llafranc exemplifiquen tant el model de propagació estable com el semiestable. Els individus de major resistència a la fractura (LLA006 i LLA013) presenten la corba típica d’una propagació inestable de la fractura, mentre que la resta mostra regions clares de propagació semiestable i estable (Figura 90). Cal dir que per a tots els individus testats de Llafranc s’han estimat unes TCE de 850-950°C i superiors als 1000°C.



**Figura 86.** Corba càrrega-desplaçament resultant del test de resistència a la fractura Hertziana dels individus MUJ004, MUJ005, MUJ007, MUJ009, MUJ015 i MUJ017.

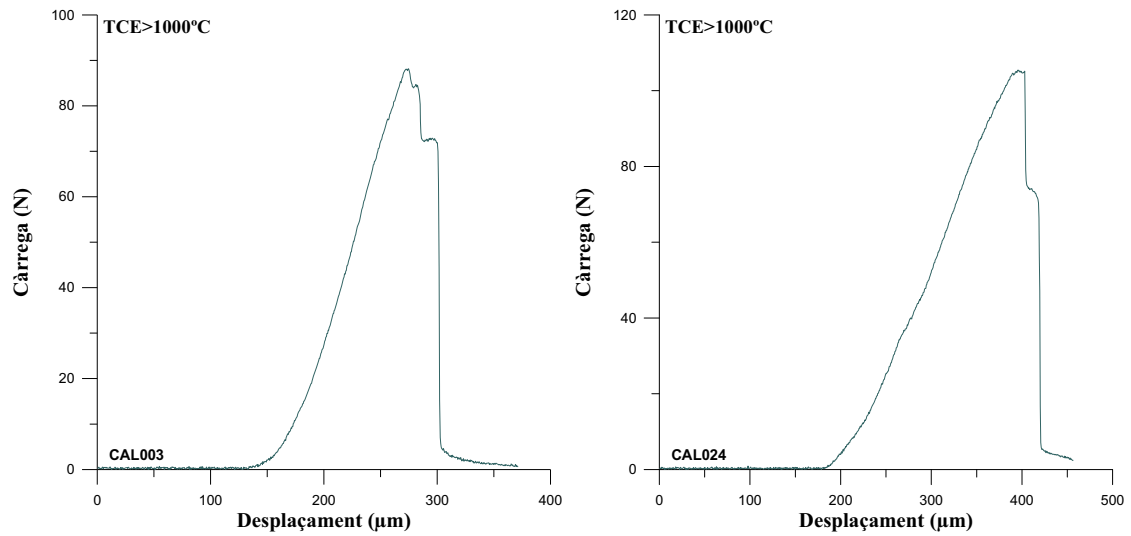


**Figura 87.** Corba càrrega-desplaçament resultant del test de resistència a la fractura Hertziana dels individus MUJ034 i MUJ059.

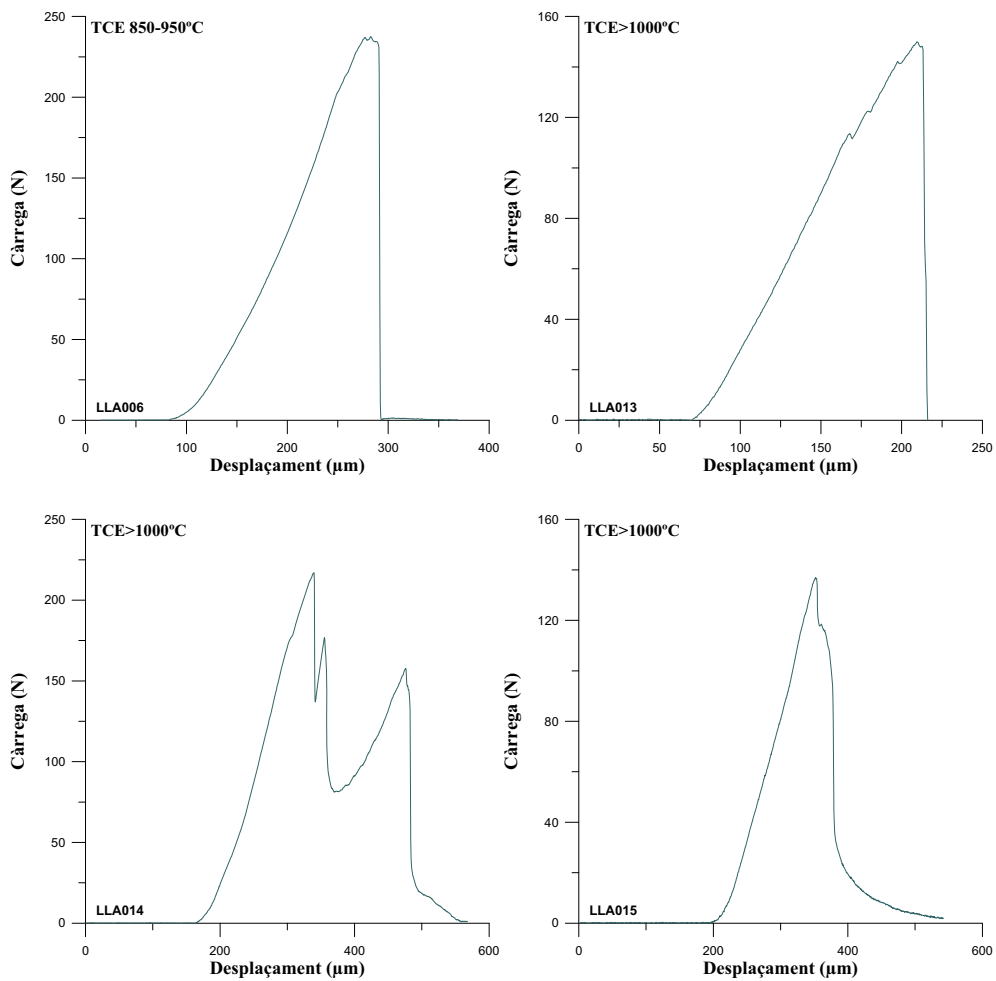


**Figura 88.** Corba càrrega-desplaçament resultant del test de resistència a la fractura Hertziana dels individus PLF006 i PLF012.



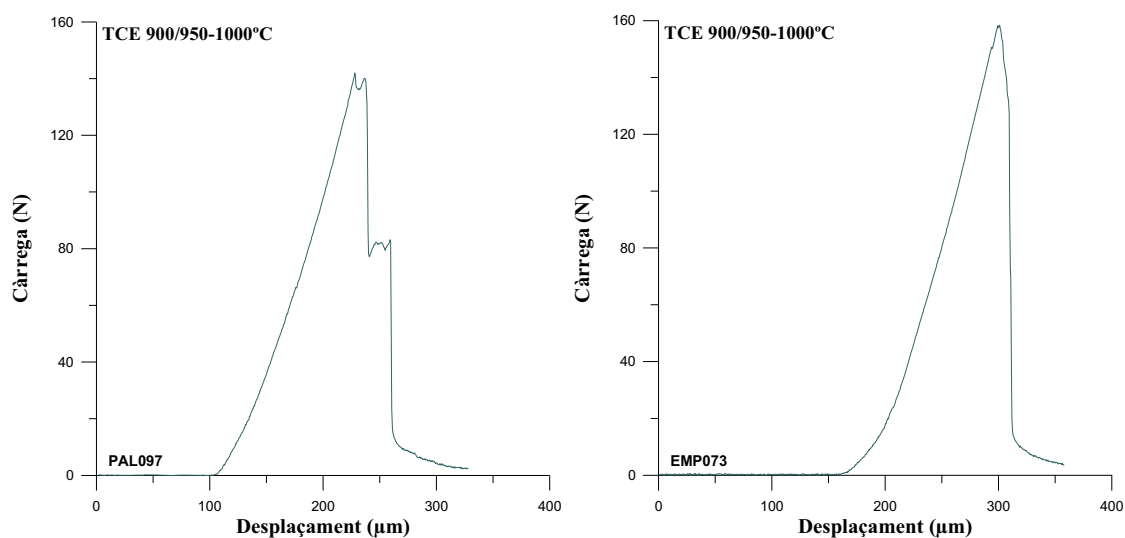


**Figura 89.** Corba càrrega-desplaçament resultant del test de resistència a la fractura Hertziana els individus CAL003 i CAL024.



**Figura 90.** Corba càrrega-desplaçament resultant del test de resistència a la fractura Hertziana dels individus LLA008, LLA013, LLA014 LLA016.

Finalment, entre els individus recuperats en els centres receptors d'*Iluro* i d'*Emporiae* pràcticament només s'observen corbes amb una petita regió semiestable, sense que es pugin constatar, per tant, grans mecanismes de dissipació d'energia. Aquest comportament apareix il·lustrat pels gràfics dels individus PAL097 i EMP073 (Figura 91).



**Figura 91.** Corba càrrega-desplaçament resultant del test de resistència a la fractura Hertziana dels individus PAL097 i EMP073.

#### 7.4.5 Conclusions

Per concloure amb aquest capítol volem proposar una sèrie de consideracions referents a la producció, la distribució i el consum de les àmfores en estudi. A partir del que hem exposat en les línies precedents es desprèn que:

- 1) La caracterització química, així com l'estimació de les TCE mitjançant l'estudi mineralògic i l'anàlisi granulomètrica mostra l'existència d'una diversitat complexa de tecnologies implicades en la producció d'àmfores. L'explicació de quins són els factors que expliquen aquesta diversitat tecnològica i dels seus

mecanismes de funcionament no és senzilla, per bé que encara queden per resoldre aspectes com ara la distribució, el consum i les característiques tècniques dels envasos tenint en compte els respectius dissenys formals que, de ben segur, aportaran noves dades per resoldre una mica més aquesta problemàtica. Ara per ara, és clar que la diversitat de pastes i, especialment, les diferències en les fàbriques respecte les inclusions no plàstiques i les TCE estimades donen com a resultat uns productes de competències tècniques diferenciades. El pas següent és reconèixer fins a quin punt hi hagué una recerca d'aquestes competències en la producció dels envasos. O expressat amb termes més conductuals, quin fou el seu pes durant el procés de disseny.

- 2) L'estudi de les característiques tecnològiques referents a les propietats mecàniques suggereix un aspecte interessant de la producció d'aquestes àmfores. Les propietats mecàniques, almenys pel que respecte a la resistència a la fractura, mostren una gran oscil·lació entre valors molt baixos i valors alts. Aquesta variació podria estar indicant que no hi hauria un control excessivament estricte de les propietats de resistència mecànica de les àmfores o que, en qualsevol cas, no hi ha cap indicatiu que apunti cap a un intent d'aconseguir unes propietats fixes en la producció dels envasos, sinó que aquests podrien oscil·lar en un rang força ampli. Hom podria pensar que aquestes característiques serien d'esperar en un material la major part del qual, recordem-ho, ha estat recuperat en els abocadors dels centres productors i que, per tant, és probable que representi aquells productes que per una raó o altra no haurien estat considerats adients per a servir d'envàs de transport. No obstant, els resultats dels individus procedents dels centres receptors, d'unes resistències a la fractura mecànica també molt diverses (des de valors molt baixos fins a valors alts), semblen donar suport a la idea d'una conducta laxa en el control d'aquestes propietats. En qualsevol cas, l'estudi de la provenença de les àmfores dels centres receptors que es durà a terme la llarg del Capítol 10 acabarà per dilucidar aquests plantejaments.
- 3) En termes de producció i consum, aquests resultats s'expliquen per un procés relativament poc estandarditzat en la preparació de les pastes i per un seguiment

laxe de les receptes de pasta. Aquesta variabilitat seria un reflex, en bona part, de la conjunció d'aquestes característiques en un context de producció en massa amb un control lax de les resistències del material ceràmic. Així, sembla clar que un dels factors de situació importants en la interpretació dels resultats és el vessant econòmic d'aquesta activitat. Entenent que les àmfores representen un cas de tecnologia subsidiària, on el preu final de mercat s'estableix en funció del producte que transporten, i no per elles mateixes, com seria el cas d'altres tipus ceràmics, les característiques d'aquests envasos semblen el resultat de la recerca d'un compromís entre factors *tècnics* i *econòmics*, i que en cas de conflicte semblaria primar el darrer aspecte. Així ho podria indicar el fet que les resistències a la fractura dels individus tant de centres productors com de receptors segueixen un continu sense solució de continuïtat aparent i que, el que és més important, aquest s'inicia amb valors relativament molt baixos. Aquesta situació en una competència tècnica aparentment tan important en el cas de les àmfores mostra que una de les premisses bàsiques d'aquesta cadena de comportament seria, probablement, considerar aptes per a la distribució els productes que mostressin el mínim de consistència. En qualsevol cas, cal recordar que estem tractant amb les propietats físiques del material amb què foren fabricades les àmfores i no amb competències tècniques específiques de tot l'envàs. Per tant, és necessari considerar també la possibilitat que bona part del control sobre les propietats mecàniques de les àmfores estigués en el seu disseny formal. Aquesta qüestió serà abordada en el Capítol 9

- 4) Finalment, hi ha un altre aspecte que lliga plenament amb els punts anteriors, i que també concorda clarament amb els resultats obtinguts. Des d'una perspectiva purament econòmica, els costos de producció d'aquests envasos amforals s'haurien de poder analitzar en termes del que s'anomenen decisions marginals, molt especialment si atenem als factors de situació econòmics en què apareixen<sup>38</sup>. En aquest cas concret, el preu del producte no sembla estar condicionat de cap manera per l'escassetat de centres productors, ans al contrari; s'assumeix que les alternatives marginals són abundants i, en conseqüència, la

---

<sup>38</sup> Veure apartat Capítol 2.

lògica del sistema quedaria impel·lida a reduir els costos de producció dels envasos, cosa que explicaria els resultats analítics. És important notar que el funcionament d'aquest model que, en definitiva, afecta les decisions de producció de les àmfores és independent de la propietat i del vincle de la *figlina* —bé integrada en l'organització d'un *fundus*, bé organitzada de manera autònoma.

# CAPÍTOL 8

---

## CARACTERITZACIÓ DELS CENTRES PRODUCTORS. PART II

### 8.1 Preliminar

La formació de *grups de referència* dels centres productors és un dels aspectes més importants en l'estudi de provenença química, ja que suposen una base per als posteriors treballs d'associació de patrons; d'aquesta manera els nous individus que es vagin analitzant podran ser afiliats als grups de referència definits. Els materials procedents de forns o abocadors són especialment adequats per a la formació d'aquests grups, en tant que s'assumeixen com a representatius d'unitats de producció del centre.

La justificació d'aquest capítol té els seus fonaments en el capítol anterior al llarg del qual es demostra l'existència d'una multiplicitat de grups químics, molt superior al nombre de centres considerats i que, com s'ha demostrat en els experiments de remostreig aleatori, són d'una variabilitat composicional superior a la d'altres produccions ceràmiques sincròniques. Aquest primer resultat demostra que, en el cas que ens ocupa, la definició dels grups de referència en els propis centres productors és absolutament necessària, ja que un estudi realitzat únicament en un centres receptors no

permetria, de cap manera, identificar correctament la diversitat de produccions que l'estarien abastant. Així doncs, en aquest capítol es definiran els grups de referència que representin cada un dels centres productors en estudi: Can Notxa, El Mujal, C/ de Guillem de Palafolls, Fenals, Collet de Sant Antoni de Calonge i Llafranc. La definició dels grups, així com la posterior afiliació d'individus a aquests patrons, es realitza a partir del tractament estadístic de les dades resultants de l'anàlisi química per Fluorescència de Raigs X (FRX). Paral·lelament, l'estudi de les característiques tecnològiques dels materials s'ampliarà amb la definició de les fàbriques representatives dels diferents grups establerts mitjançant l'estudi mineralògic per Difracció de Raigs X (DRX) i, en casos puntuals, mitjançant la caracterització microestructural i l'avaluació de l'estat de sinterització de la matriu per Microscòpia electrònica de Rastreig (MER).

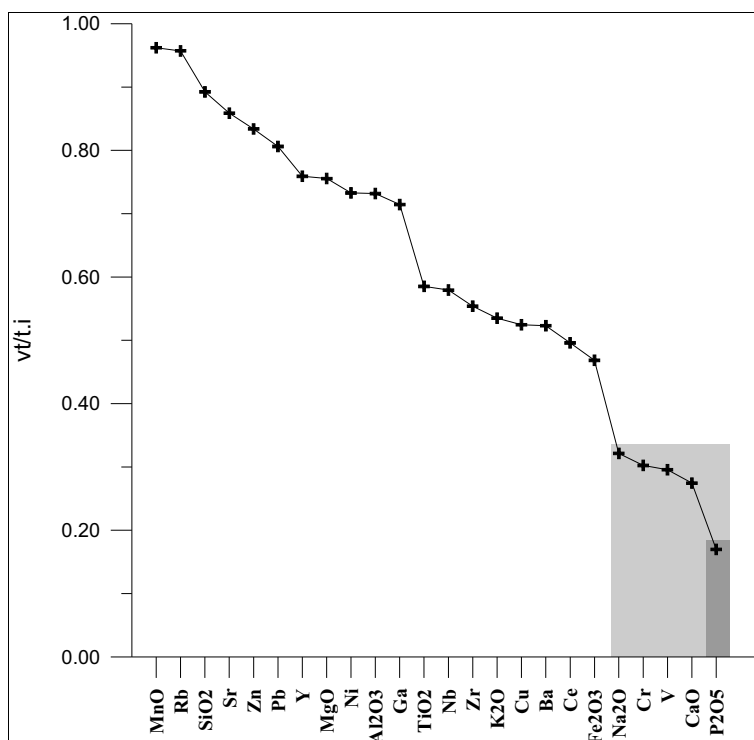
## **8.2 Can Notxa (Argentona)**

Un total de 7 individus procedents del centre productor de Can Notxa han pogut ésser mostrejats per a l'anàlisi arqueomètrica. Cinc d'aquests individus s'identifiquen amb el tipus Laietana 1/Tarraconense 1 (NTX002, NTX004, NTX005, NTX006, NTX007) i els dos restants amb el tipus Pascual 1 (NTX001, MTX003). Aquests dos individus no foren interpretats com a restes de produccions locals del centre (Rigo 1996); per tant, un aspecte interessant que hauria d'aclarir la caracterització química és la possibilitat que a Can Notxa també s'haguéssin produït àmfores del tipus Pascual 1.

### **8.2.1 Caracterització química**

Per tal de quantificar la variabilitat total del conjunt amforal de Can Notxa i com a primera eina d'anàlisi exploratòria de l'origen d'aquesta variabilitat s'ha calculat la matriu de variació composicional (MVC) sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (com a Fe total),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , MnO,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$ , MgO, CaO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Cu, Ni i Cr, seguint el procediment estadístic exposat en l'apartat 6.8.

El càlcul de la MVC dóna com a resultat una variació total (*vt*) de 0.18248 (Taula 33, Annex 1). Aquest valor, d'acord amb els resultats obtinguts en l'experiment de remostreig aleatori II, es pot considerar que en el cas de les àmfores és relativament



**Figura 92.** Gràfic bivariant dels elements químics retinguts per a l'anàlisi ordenats per rang descendent (en abscesses) en funció dels valors  $vt/\tau_i$  (en ordenades).

baix per al nombre d'individus analitzats<sup>39</sup>. En la Taula 33 (Annex 1) es pot veure que aquest valor ve proporcionat fonamentalment pels vectors columna  $\tau_i$  P2O5,  $\tau_i$ .CaO,  $\tau_i$ .V,  $\tau_i$ .Cr i  $\tau_i$ .Na2O, en els quals la variació total de l'estructura de covariància representa clarament menys del 50% dels seu valor ( $vt/\tau_i < 0.50$ ). L'aportació de cada element considerat a la variabilitat total queda il·lustrada en la Figura 92. S'observa que en el cas del component P2O5 la seva variació respon bàsicament a uns valors relatius més alts en els individus NTX001, NTX002 i NTX003 (els tres amb uns continguts de 0.12%, en dades normalitzades), els quals foren recuperats en un mateix context estratigràfic, diferent al dels quatre individus restants.

De manera similar, la variació dels components Na2O i Ce respon, com en el cas anterior, una lleugera variació que indica als individus NTX001, NTX002 i NTX003 amb uns continguts relatius més alts als dels quatre individus restants. D'altra banda, la variació dels components CaO, V i Cr està lligada fonamentalment a un sol individu (NTX002). De fet, aquest és l'individu que mostra majors diferències composicionals

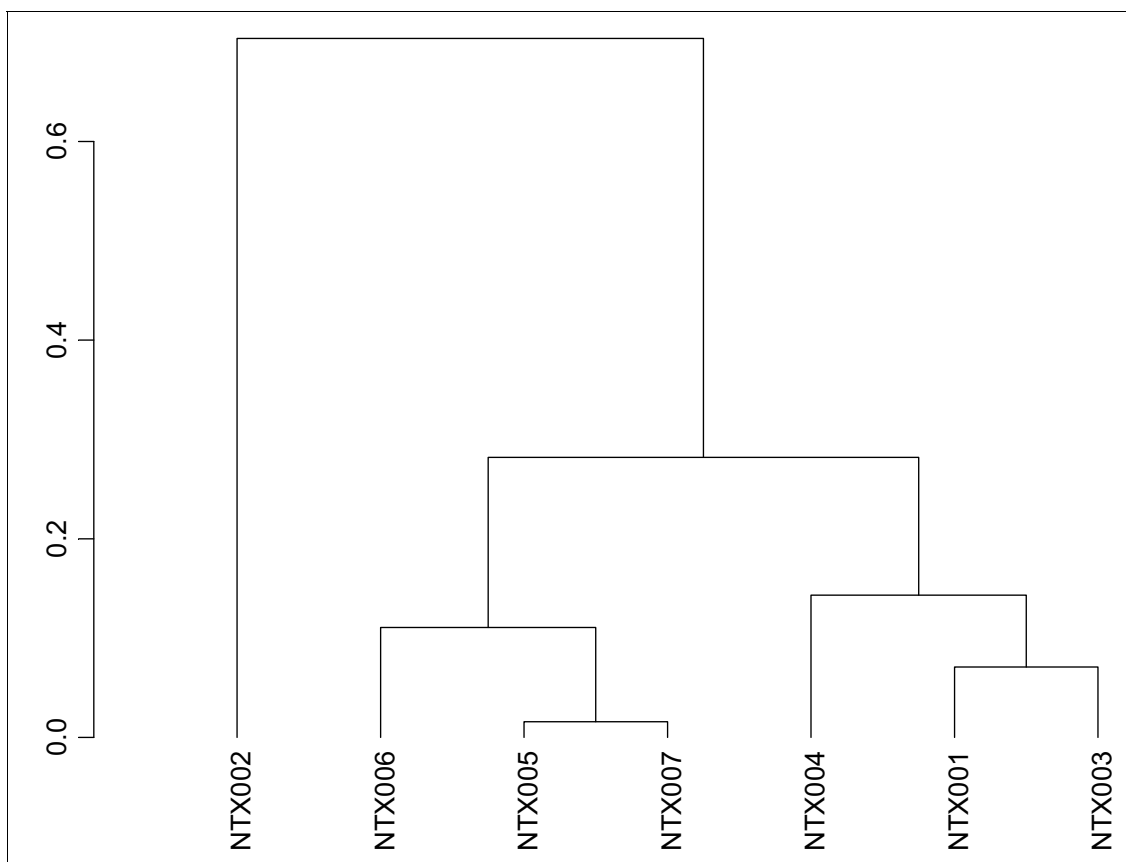
<sup>39</sup> Veure apartat 7.3.1.2.



respecta la resta, amb uns continguts relatius més alts en SiO<sub>2</sub>, Zr i, especialment, CaO, i més baixos en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, MgO i, especialment, V i Cr.

Com es pot veure en l'extrem esquerra de la Figura 92, els elements que menys variabilitat aporten en ésser emprats com a divisors en la transformació en logaritmes de raó són el MnO ( $\tau_{\text{MnO}}=0.19154$ ;  $vt/\tau_{\text{MnO}}=0.96211$ ), Rb ( $\tau_{\text{Rb}}=0.19252$ ;  $vt/\tau_{\text{Rb}}=0.95722$ ) i SiO<sub>2</sub> ( $\tau_{\text{SiO}_2}=0.20651$ ;  $vt/\tau_{\text{SiO}_2}=0.89237$ ). D'aquests elements, el SiO<sub>2</sub> és el que amb més probabilitat es pot relacionar amb la matèria primera així com amb factors tecnològics de la producció amforal i, el que és més important, el que menys probabilitat té de poder estar relacionat amb processos d'alteració i/o contaminació postdeposicional. Per tot això es considera el millor element per a ésser emprat com a divisor en la transformació de les dades químiques en logaritmes de raó.

Els valors transformats han estat emprats en una anàlisi d'agrupament o de conglomerats per tal d'identificar els grups químics existents i, a partir d'aquí, establir el grup o grups de referència representatius del centre. Així, l'anàlisi de conglomerats s'ha realitzat sobre la subcomposició Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, Ba, Rb, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Cu, Ni i Cr, emprant el SiO<sub>2</sub> com a divisor. Aquesta anàlisi s'ha efectuat fent servir el mètode aglomeratiu del centroide i emprant la distància Euclidiana al quadrat amb el paquet informàtic S-Plus 2000 (MathSoft 1999). El resultat es resumeix gràficament amb el dendrograma de la Figura 93.

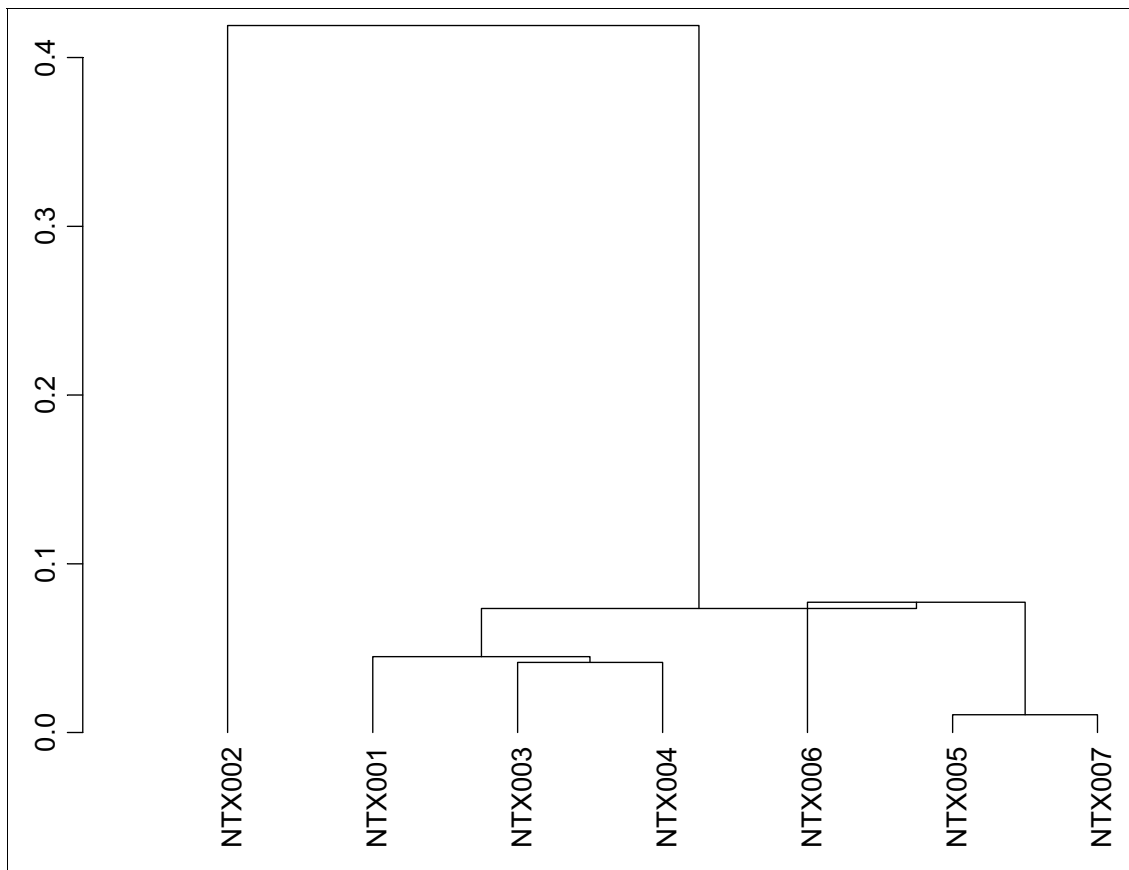


**Figura 93.** Dendrograma resultant de l'anàlisi de conglomerats dels 7 Ic de Can Notxa, emprant la distància euclidiana al quadrat i l'algoritme aglomeratiu del centroide sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Y}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Ce}$ ,  $\text{Ga}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Ni}$  i  $\text{Cr}$ , emprant el  $\text{SiO}_2$  com a divisor.

L'estructura del dendrograma revela l'existència de dues agrupacions principals que s'uneixen a una distància ultramètrica relativament curta, el que indica una relativa similitud composicional, i un individu més diferenciat de la resta, el qual s'uneix a la resta a una distància ultramètrica aproximadament tres cops superior a la darrera fusió produïda entre les dues agrupacions. La primera agrupació, començant per la dreta del dendrograma, està formada pels individus NTX003, NTX001 i NTX004. Dins d'aquest conglomerat destaca especialment la similitud composicional entre els dos individus del tipus Pascual 1 analitzats d'aquest centre, cosa que es reflecteix en el dendrograma per la curta distància ultramètrica en què es fusionen ambdós individus. A l'esquerra d'aquesta agrupació, resten agrupats tres individus corresponents al tipus Llaientana 1/Tarraconense 1 (NTX007, NTX005 i NTX006). En aquest cas, destaca encara més la

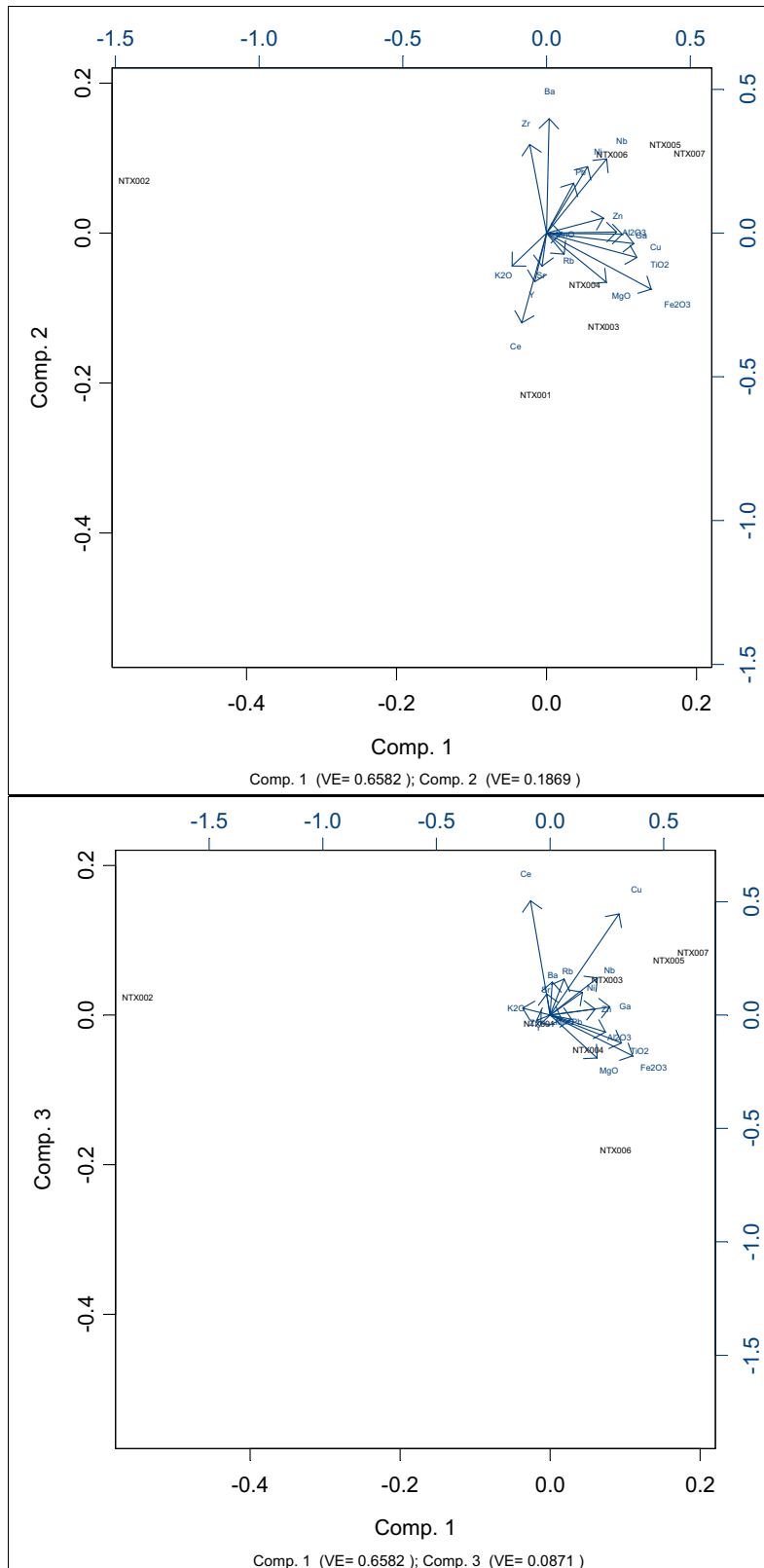
gran similitud composicional entre els individus NTX005 i NTX007. Finalment, l'individu NTX002, corresponent també al tipus Laietana 1/Tarraconense 1, apareix situat a l'esquerra del dendrograma. La seva situació marginal en aquest gràfic és deguda a les diferències composicionals que afecten en major mesura els components  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{V}$  i  $\text{Cr}$ . En cas de realitzar una nova anàlisi de conglomerats, però excloent-hi els components que més variabilitat aporten a tot el conjunt ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{V}$  i  $\text{Cr}$ ), la situació de l'individu NTX002 es manté marginal respecte la resta d'agrupacions (Figura 94). En canvi, la distància ultramètrica a la qual es fusionen les dues agrupacions principals, les quals apareixen formades pels mateixos individus, es veu notablement reduïda. Un cop exclosos aquests components, el càlcul d'una nova MVC dóna com a resultat, i com era d'esperar, una variació total notablement inferior a l'anterior ( $v_t=0.07102$ ) (Taula 34, Annex 1).

Per ampliar els resultats obtinguts amb l'anàlisi de conglomerats, ha estat efectuada, sobre la mateixa subcomposició anterior, una anàlisi de components principals, els gràfics resultants de la qual es presenten en la Figura 95. Els tres primers components generats permeten explicar un 93.22% de la variació existent en el conjunt de les dades, el que indica clarament la simplificació de la complexitat recollida en les 19 variables originals, retenint la major part de la informació. El primer component (Comp. 1) és el que recull una major part d'aquesta informació, explicant per sí mateix un 65.82% de la variància. Un examen dels pesos d'aquest Comp. 1 mostra que la majoria de les variables originals tenen una correlació positiva amb ell; aquest Comp. 1 està determinat per l'atracció vers els valors positius dels elements  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (del qual explica el 20.63% de la seva variació),  $\text{TiO}_2$  (del qual explica el 15.41% de la seva variació),  $\text{Cu}$  (del qual explica el 14.37% de la seva variació),  $\text{Ga}$  (del qual explica el 10.84% de la seva variació) i  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (del qual explica el 9.27% de la seva variació).



**Figura 94.** Dendrograma resultant de l'anàlisi de conglomerats dels 7 Ic de Can Notxa, emprant la distància euclidiana al quadrat i l'algoritme aglomeratiu del centroide sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, Zn, Cu i Ni, emprant el  $\text{SiO}_2$  com a divisor.

El segon component principal (Comp. 2) explica per definició un percentatge menor de la variació existent; en aquest cas concret un 18.69%. Els pesos d'aquest Comp.2 indiquen la seva associació als valors positius del Ba, Zr, Nb i Ni (dels quals explica un 24.76%, 14.90%, 10.44% i 8.36% de les seves respectives variacions), així com als valors negatius del Ce i  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (dels quals explica un 15.19% i 5.97% de les seves respectives variacions).



**Figura 95.** Biplot resultant de l'anàlisi de components principals sobre la subcomposició Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, TiO<sub>2</sub>, MgO, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, Ba, Rb, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, Zn, Cu i Ni, emprant el SiO<sub>2</sub> com a divisor. Superior: el component principal 1 (en abscesses) i el component principal 2 (en ordenades). Inferior: el component principal 1 (en abscesses) i el component principal 3 (en ordenades).

El tercer component principal (Comp. 3) explica encara una part menor de la variabilitat; concretament el 8.71%. Aquest component està associat fonamentalment als valors negatius dels elements Ce i Cu (dels quals explica el 39.63% i 31.14% de la seva variació, respectivament).

La puntuació dels individus en els biplots corrobora les agrupacions resultants de l'anàlisi de conglomerats. L'agrupació formada per NTX005, NTX006 i NTX007 queda atreta pels valors positius del Comp. 2, indicant que aquests individus presenten concentracions relativament majors de Ba, Zr, Nb, Ni i Pb, però menors de Ce, tot el contrari del que ocorre amb els individus NTX001, NTX003 i NTX004, atrets pels valors negatius del Comp. 2. En qualsevol cas, les diferències existents entre aquestes dues agrupacions són menors, com així ho suggereix el fet que no hi ha cap puntuació extrema remarcable entre aquests individus. Així mateix, es pot observar com la major part de la variabilitat existent en aquest conjunt de dades ve donada per l'individu NTX002, situat en l'extrem esquerra en els dos biplots i, per tant, atret clarament pels valors negatius del Comp. 1. La major concentració relativa de SiO<sub>2</sub> és la diferència més important que presenta aquest individu, explicant la menor concentració relativa en la major part de la resta d'elements, com queda il·lustrat en ambdós biplots de la Figura 95.

Així doncs, la caracterització química dels set individus procedents del centre productor de Can Notxa permet definir un primer grup de referència que estaria format pel individus NTX001, NTX003, NTX004, NTX005, NTX006 i NTX007. Aquest grup corrobora els resultats obtinguts en l'experiment de remostreig aleatori II, en tant que inclou el subconjunt de cinc Ic de menor *vt*, per als quals se suggeria que podrien representar una producció feta a partir d'una mateixa pasta<sup>40</sup>. Aquest primer grup de referència ha estat etiquetat com a NTX-A. El nombre limitat de mostres que han pogut ésser caracteritzades fa que els resultats i les conclusions obtingudes no es puguin considerar més que una primera aproximació a les característiques d'aquest centre. Així, i a l'espera de poder ampliar l'estudi d'aquest centre, optarem per la postura més conservadora i no inclourem, pel moment, l'individu NTX002 en la definició del grup de referència de Can Notxa. Malgrat que les diferències composicionals que presenta

---

<sup>40</sup> Veure apartat 7.3.1.2 i Taula 22 (Annex 1).

aquest individu respecta la resta no són tan pronunciades com les observades en altres produccions que sí es defineixen com un únic grup, la seva inclusió en aquests moments no faria més que augmentar la desviació estàndard dels elements i no aportaria cap informació rellevant al grup. En qualsevol cas, la seva composició en dades normalitzades es presenta al cosat del grup de referència definit, de manera que es poden comparar fàcilment les diferències esmentades i considerar-la en futurs treballs d'associació de patrons (Taula 35, Annex 1).

### 8.2.2 Caracterització mineralògica

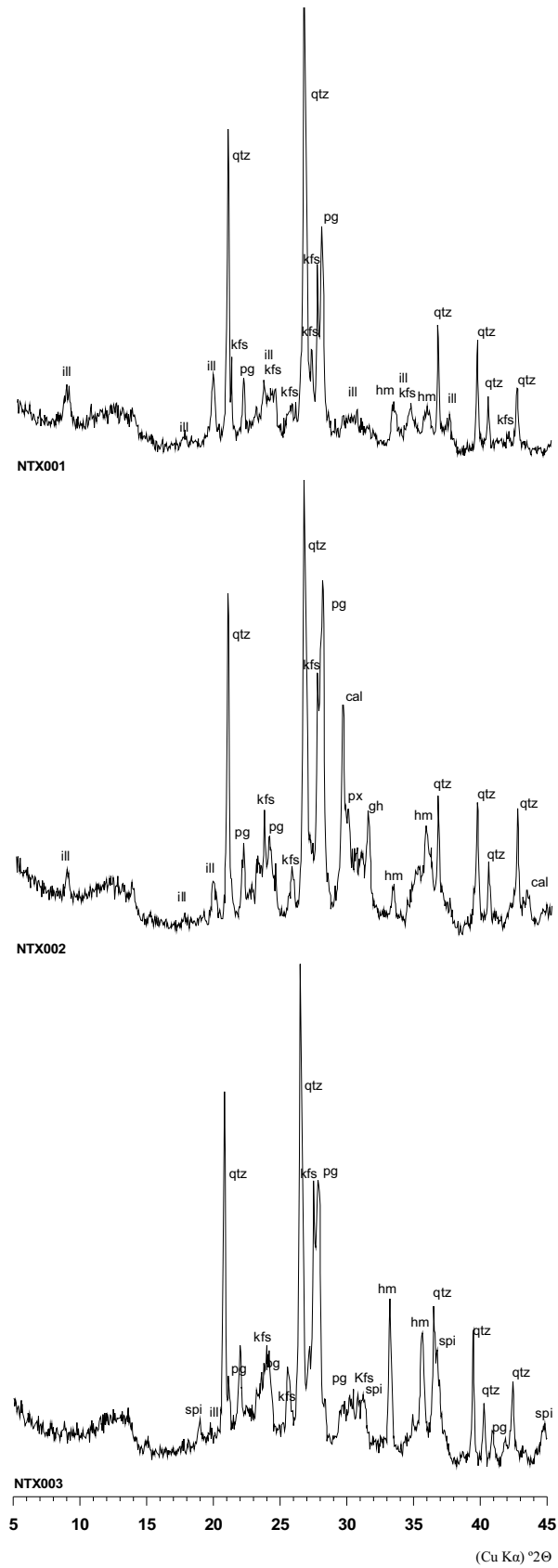
L'estudi dels difractogrames obtinguts per Difracció de Raigs X (DRX) dels 7 individus procedents del centre productor de Can Notxa permet establir les fàbriques característiques de cada grup en funció de l'associació de fases cristal·lines que presenten. A partir d'aquest procediment s'han estimat les Temperatures de Coccio Equivalent (TCE) de cada individu. Així, per al grup NTX-A han estat identificades un total de dues fàbriques diferents (Taula 36, Annex 1).

En la fàbrica etiquetada com NTX-AI queden agrupats els individus NTX001 i NTX006. Els difractogrames d'aquests dos individus mostren la presència de pics clars d'il·lita-moscovita, quars, feldspat potàssic i plagiòclasi, així com pics de baixa intensitat d'hematites (Figura 96, superior). La presència de pics encara ben desenvolupats d'il·lita-moscovita —especialment intensos en l'individu NTX006—, fase que es pot considerar com a primària i que es descomposa habitualment entre 900/950-1000°C, així com els pics poc desenvolupats d'hematites, els quals es podrien considerar bé primaris bé que haurien cristal·litzat durant la coccio, permet estimar una TCE molt probablement inferior als 850-900°C.

La resta dels individus que configuren el grup de referència química de Can Notxa (NTX003, NTX004, NTX005, NTX007) presenten una mateixa associació de fases cristal·lines, i han estat etiquetats com a fàbrica NTX-AII (Figura 96, inferior). Els difractogrames d'aquests individus mostren la presència com a fases principals de quars, feldspat potàssic, plagiòclasi, així com pics d'hematites més desenvolupats que en la fàbrica anterior. Igualment, destaca la presència en tots els individus de pics d'espinel·la, fase de coccio habitual en ceràmiques poc calcàries cuites en atmosfera

predominantment oxidants (Maggetti 1981). La presència d'aquesta clara fase de cocció, junt amb la desaparició gairebé complerta dels pics d'il·lita-moscovita, permeten suggerir una TCE superior a l'anterior fàbrica, molt probablement en el rang 900/950-1000°C.





**Figura 96.** Diffractogrames representatius de les fàbriques NTX-AI (superior), NTX-AII (inferior) i de l'individu NTX002 (mig). **cal**=calcita; **gh**=gehlenita; **hm**=hematites, **ill**=il·lita-mocovita; **kfs**=feldspat potàssic; **pg**=plagiòclasi; **px**=piroxè; **qtz**=quars; **spi**=espinel·la.

Finalment, l'individu NTX002 mostra una fàbrica clarament diferenciada de la resta (Figura 96, mig). Com es pot observar, destaquen com a fases principals les il·lites-moscovites, quars, feldspat potàssic, plagiòclasi, hematites, calcita, piroxè i gehlenita. Aquesta associació de fases minerals permet estimar una TCE entre 850-900/950°C, donada la presència de gehlenita i piroxè, les quals serien probablement fases de cocció i, per tant, indiquen que s'haurien superat els 850 °C, així com la presència clara dels pics d'il·lita-moscovita, el que suggereix que la temperatura no hauria sobrepassat els 950-1000°C. El rang de TCE proposat estaria d'acord amb el fet que el pic de calcita encara no hauria desaparegut —especialment si atenem a la factura lleugerament més grollera que la resta dels individus d'aquest tipus, sense deixar de banda la possibilitat que es tractés de calcita secundària—, acompanyant-se de pics incipients de les probables fases de cocció de piroxè i gehlenita.

### 8.2.3 Conclusions

La formació de grups de referència dels centres productors és un dels primers passos en l'estudi de provenença de ceràmiques arqueològiques. D'altra manera seria pràcticament impossible realitzar de manera satisfactòria i amb un procediment contrastable la subseqüent tasca d'identificació i associació de patrons per tal d'afiliar a un centre productor aquells individus que romanen amb provenença desconeguda. En el cas de les àmfores, els materials procedents de forns o abocadors són especialment adequats per a la formació d'aquests grups, en tant que representen les úniques restes d'una unitat de producció del centre, entesa com una pasta preparada des del mateix taller. En el present cas, la caracterització arqueomètrica del centre productor de Can Notxa ha permès definir un primer grup de referència (NTX-A) format per 6 individus, 4 dels quals s'identifiquen amb el tipus Laietana 1/Tarraconense 1 i els 2 individus restants com a Pascual 1. Així doncs, es confirma que en aquest centre productor s'hi fabricaren àmfores dels dos tipus esmentats fent servir unes pastes molt similars que, a partir de les dades existents a dia d'avui, no presenten, des del punt de vista químic, diferències significatives que puguin fer pensar en diferents procediments tecnològics. Concretament, es tracta d'una pasta amb uns continguts en CaO ( $3.76 \pm 0.27$ , en dades normalitzades) propis del que es consideren ceràmiques poc calcàries. Certament, també

s'ha de considerar com a alternativa plausible el fet que els individus del grup NTX-A representin la producció d'un altre taller i que per motius desconeguts passaren a formar part del registre arqueològic en el jaciment en Can Notxa.

En tot cas, junt al grup de referència NTX-A s'ha identificat un individu del tipus Laietana 1/Tarraconense 1 (NTX002) amb certes diferències composicionals respecta la resta. No obstant la composició química no és l'únic criteri que indica diferències amb la resta dels individus caracteritzats. D'una banda, aquest individu mostra una associació de fases cristal·lines diferent a les de la resta de fàbriques definides i, d'altra, és l'individu que té el valor de resistència a la fractura Hertziana més baix dels 5 individus testats de Can Notxa (Taula 30, Annex 1). És probable que aquest darrer fet estigui relacionat amb l'aparent major mida i freqüència de les inclusions no plàstiques observades per lupa binocular, cosa que estaria reflectida químicament amb la seva major concentració relativa en SiO<sub>2</sub>. Per totes aquestes raons, i a l'espera de poder ampliar l'estudi d'aquest centre, s'ha decidit no incloure'l en el primer grup de referència del taller.

### **8.3 El Mujal (Calella)**

En el jaciment d'El Mujal es documentaren extensos nivells d'abocament d'àmfores formades fonamentalment pels tipus Laietana 1/Tarraconense 1 i Pascual 1, així com, en menor mesura, per Dressel 2-4 (Defaus *et al.* 1988). La singularitat d'aquest jaciment rau en el fet que és el primer en què es documenta un abocador format exclusivament per àmfores del tipus Laietana 1/Tarraconense 1, un mostra de les quals és la caracteritzada en aquest treball (MUJ033-MUJ060). En un nivell superior va aparèixer un estrat format en bona part per fragments del tipus Pascual 1, una part dels quals completen la mostra analitzada (MUJ001-MUJ032).

#### **8.3.1 Caracterització química**

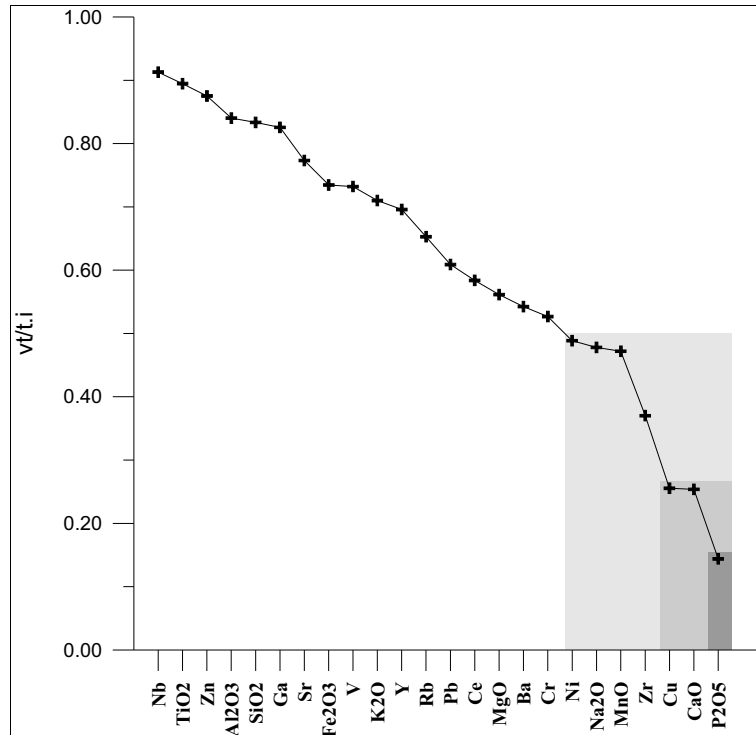
El tractament estadístic dels resultats obtinguts per FRX sobre els 60 individus procedents d'El Mujal s'ha fet a partir de la transformació en logaritmes de raó a partir de la subcomposició Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (com a Fe total), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub>, MgO, CaO,

Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, Ba, Rb, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Cu, Ni i Cr. Així, el vector composicional  $\mathbf{x}$  ha estat transformat segons:

$$\mathbf{x} \in S^d \rightarrow \mathbf{y} = \ln\left(\frac{\mathbf{x}-D}{x_D}\right) \in R^d$$

On  $S^d$  és el simplex d-dimensional ( $d=D-1$ ) i  $\mathbf{x}_D=(x_1, \dots, x_d)$ . En aquest cas, les dades han estat transformades emprant el Nb com a divisor en tant que és l'element que, en el càlcul de la matriu de variació composicional (MVC) (Taula 37, Annex 1), mostra una menor contribució a la variabilitat química existent.

La variació total ( $vt$ ) d'aquest conjunt de dades és de 0.53862 i, per tant, es pot considerar, d'acord amb els experiments de remostreig aleatori efectuats en el capítol anterior, que reflecteix una variació química relativament alta. L'examen dels valors obtinguts en la MVC indica que aquest valor elevat és degut a la variació relativa que mostren molts dels components químics. Així, la  $vt$  d'aquest conjunt ve proporcionada, en bona mesura, pels vectors columna  $\tau_{i,P2O5}$  ( $\tau_{P2O5}=3.74381$ ;  $vt/\tau_{P2O5}=0.14387$ ),  $\tau_{i,CaO}$  ( $\tau_{CaO}=2.12236$ ;  $vt/\tau_{CaO}=0.25378$ ),  $\tau_{i,Cu}$  ( $\tau_{Cu}=2.10842$ ;  $vt/\tau_{Cu}=0.25546$ ),  $\tau_{i,Zr}$  ( $\tau_{Zr}=1.45516$ ;  $vt/\tau_{Zr}=0.37015$ ),  $\tau_{i,MnO}$  ( $\tau_{MnO}=1.14130$ ;  $vt/\tau_{MnO}=0.47194$ ),  $\tau_{i,Na2O}$  ( $\tau_{Na2O}=1.12708$ ;  $vt/\tau_{Na2O}=0.47789$ ), i  $\tau_{i,Ni}$  ( $\tau_{Ni}=2.10842$ ;  $vt/\tau_{Ni}=0.48864$ ) (Figura 97).



**Figura 97.** Gràfic bivariant dels elements químics retinguts per a l'anàlisi ordenats per rang descendent (en abscesses) en funció dels valors  $vt/\tau_i$  (en ordenades).

Això comporta que per a tots aquests components la variació total de l'estructura de covariància representa menys del 50% dels seus valors ( $vt/\tau_i < 0.5$ ). A més a més, cal esmentar que en quatre vectors columna més ( $\tau_{i,Cr}$ ,  $\tau_{i,Ba}$ ,  $\tau_{i,MgO}$ ,  $\tau_{i,Ce}$ ), la variació total de l'estructura de covariància es troba lleugerament per sobre del límit anterior, és a dir, menys del 60% dels valors  $\tau_i$  ( $vt/\tau_i < 0.6$ ).

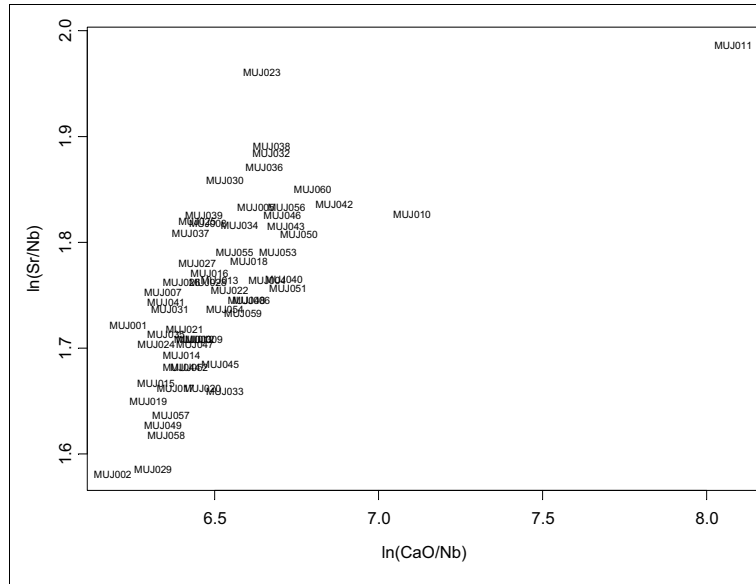
A l'altra extrem es troba el component Nb ( $\tau_{i,Nb}=0.58998$ ;  $vt/\tau_{i,Nb}=0.91295$ ) que imposa una variabilitat inferior al 9% i que, en aquest cas, és el millor indicat per a ésser emprat com a divisor en la transformació de les dades composicionals en logaritmes de raó.

Una avaluació més detallada de les dades químiques mostra que la variació del  $P_2O_5$  i Cu va especialment lligada a unes concentracions relatives anormalment altes en alguns individus, cosa que, com ja hem discutit en el capítol anterior, estaria relacionada

molt probablement amb processos de contaminació durant el període postdeposicional de les ceràmiques. Igualment, aquest mateix comportament és observat en el component Pb. Així, per evitar les pertorbacions causades pel fet que una part de la variabilitat lligada a aquests elements seria deguda a processos de contaminació i no a factors que pogués afectar la matèria primera emprada en la fabricació de les àmfores, hem repetit la MVC sense considerar aquests tres elements. En la Taula 38 (Annex 1) es pot veure com la variació total queda considerablement reduïda ( $v_t=0.31698$ ), per bé que els vectors columna encara reflecteixen un conjunt força heterogeni.

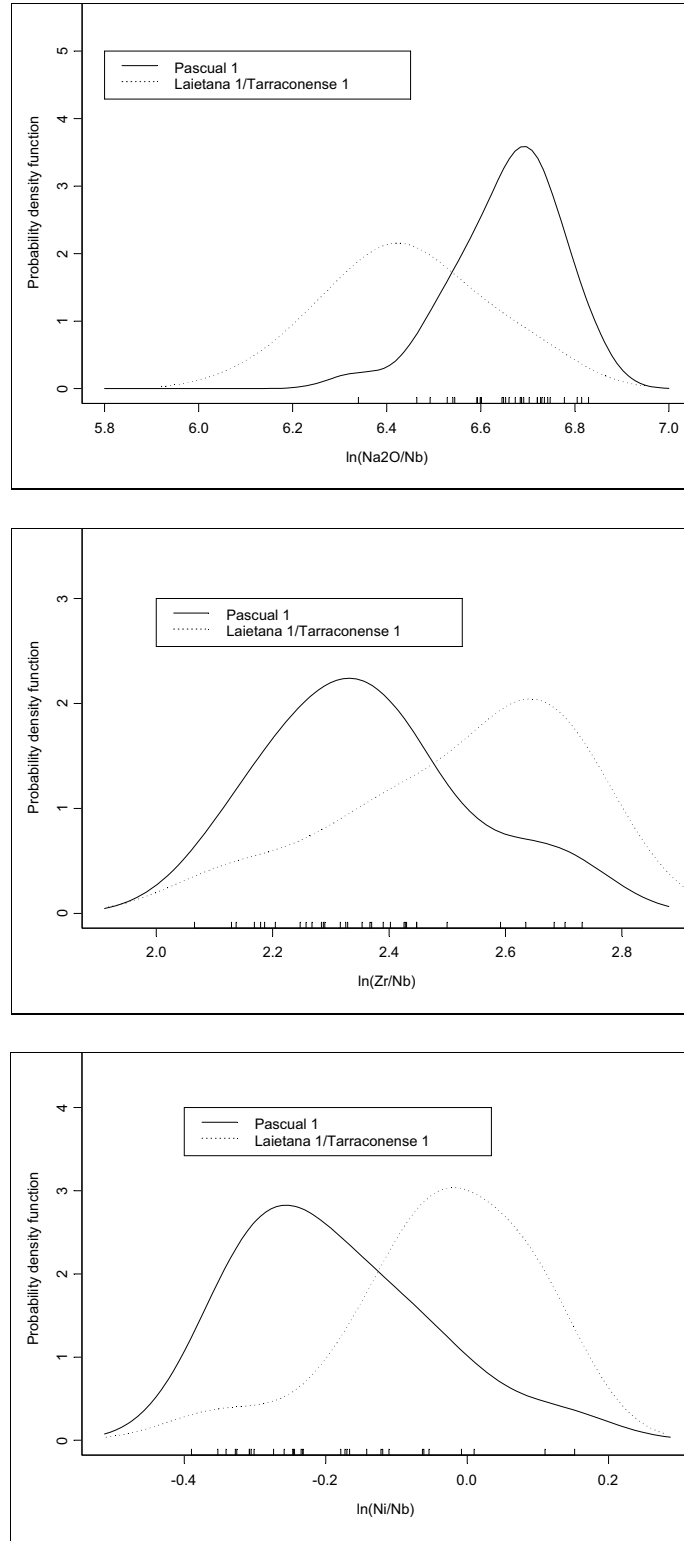
D'altra banda, la variació del CaO respon fonamentalment a la variació imposada per dos individus; MUJ010 i, molt especialment, MUJ011. Els continguts en CaO dels individus d'El Mujal, sense considerar els dos suara esmentats, oscil·len entre 0.99 i 1.84% (en dades normalitzades), amb un valor mitjà de 1.31 i una desviació estàndard de 0.23. Per la seva banda, l'individu MUJ010 mostra un contingut en dades normalitzades de 2.22%, mentre que en l'individu MUJ011 la concentració és de 5.73%. És a dir, que l'individu MUJ010 té un contingut que el situa a pràcticament 4 desviacions estàndard de la mitjana establerta per a la resta del conjunt, mentre que l'individu MUJ011 es trobaria a més de 19 desviacions estàndard. La concentració relativament superior en CaO és la principal diferència composicional entre l'individu MUJ010 i la resta d'àmfores d'El Mujal; en aquest cas no hi ha cap altre indicatiu que faci pensar en l'ús d'una pasta significativament diferenciada de la resta. Contràriament, la concentració relativament elevada de CaO en l'individu MUJ011 no és l'única diferència composicional que presenta respecte de la resta d'àmfores. Per bé que és la diferència més marcada, també cal remarcar que presenta uns valors relativament baixos en  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Rb, Ga i Cr.

Les diferències que afecten a les concentracions en CaO queden ben il·lustrades en el gràfic bivariant de la Figura 98 on es mostren els valors transformats de CaO, en abscisses, i els valors transformats d'Sr, en ordenades, i on es pot apreciar la correlació que presenten aquests components.



**Figura 98.** Gràfic bivariant dels valors  $\ln(\text{CaO}/\text{Nb})$ , en abscesses, i  $\ln(\text{Sr}/\text{Nb})$ , en ordenades, dels 60 individus procedents del centre productor d'El Mujal.

Un fet d'especial rellevància és que les diferències en els continguts de la resta dels elements que aporten més variabilitat al conjunt de les dades composicionals permeten discriminar les produccions de Pascual 1 de les Laietana 1/Tarraconense 1. Aquesta discriminació, però, no es produeix d'una manera extremadament acurada, donada la gran variabilitat composicional que caracteritza tot el conjunt i que, per tant, "dilueix" en certa manera les diferències existents. Aquest comportament es constata d'una manera més clara en els components  $\text{Na}_2\text{O}$ , Zr i Ni, però no així en el cas del MnO. La Figura 99 mostra el gràfic de la funció de densitat de probabilitat *kernel* dels valors transformats de  $\text{Na}_2\text{O}$  (superior), Zr (mig) i Ni (inferior) dels individus classificats com a Laietana 1/Tarraconense 1, representats per la línia discontinua, i dels individus classificats com a Pascual 1, representats per la línia contínua. En els tres casos queda palès que, tot i l'existència d'un cert solapament entre ambdues distribucions, els valors mitjans en la concentració d'aquests elements permet discriminar de manera general els dos tipus amforals caracteritzats.



**Figura 99.** Gràfics bivariants d'estimació de la funció de densitat de probabilitat mitjançant el mètode *kernel* dels valors  $\ln(\text{Na}_2\text{O}/\text{Nb})$  (superior),  $\ln(\text{Zr}/\text{Nb})$  (mig) i  $\ln(\text{Ni}/\text{Nb})$  (inferior) dels individus d'El Mujal classificats com a Laietana 1/Tarraconense 1 (línies discontinües) i Pascual 1 (línies contínues).



Així, de manera general s'estableix que els individus Laietana 1/Tarraconense 1 es caracteritzen per uns valors mitjans de Na<sub>2</sub>O relativament més baixos que els exhibits per la majoria de Pascual 1 d'aquest centre. Així mateix, les formes de les corbes resultants en els gràfics ens indica la major dispersió d'aquests valors en el cas de les àmfores Laietana 1/Tarraconense 1 en comparació a la distribució dels valors corresponents als individus Pascual 1; de fet, és possible que part de la variabilitat exhibida pel Na<sub>2</sub>O respongui a contaminacions postdeposicionals, procés que ja ha estat documentat en aquests tipus amforals (Vila *et al.* 2006). Paral·lelament, aquests darrers individus mostren de mitjana uns valors relatius lleugerament superiors tant de Zr com de Ni.

Per tal d'establir grups en funció de la semblança química que presenten les pastes mostrejades en aquest centre hem efectuat una anàlisi de conglomerats sobre la subcomposició Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, TiO<sub>2</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, utilitzant el Nb com a divisor en la transformació de les dades en logaritmes de raons. En aquesta anàlisi s'ha emprat la distància Euclidiana al quadrat com a distància entre individus i l'algoritme aglomeratiu del centroïde.

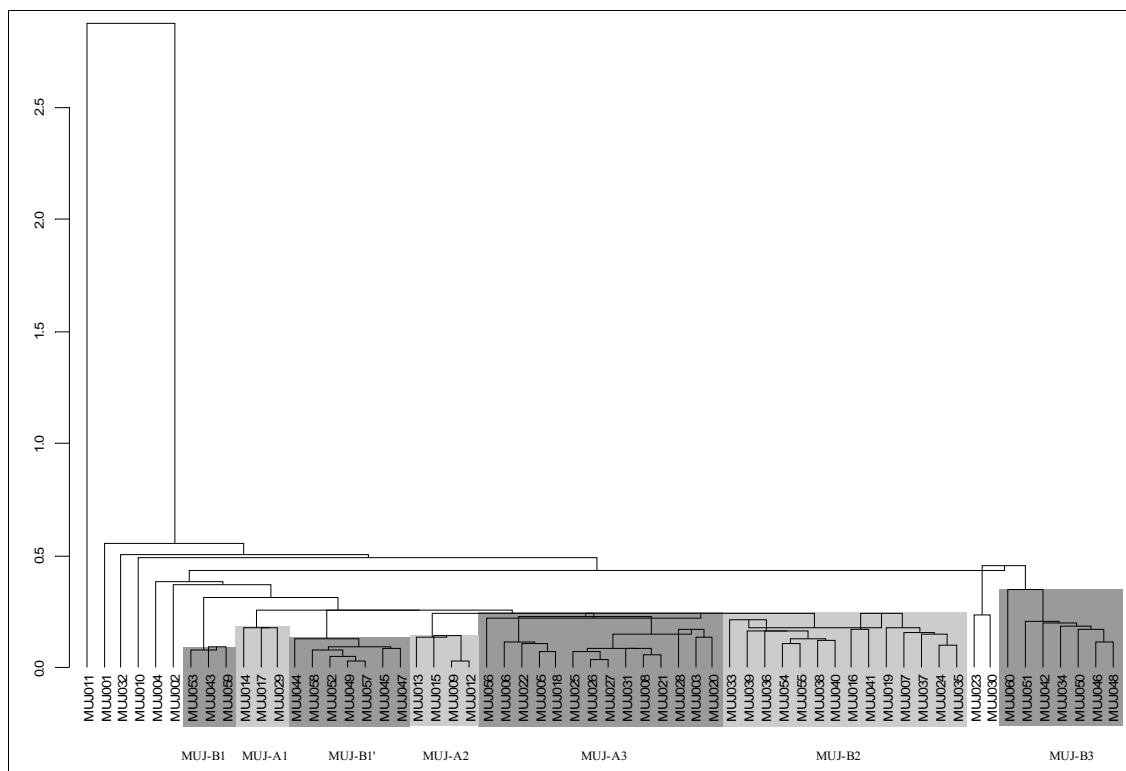
El dendrograma resultant (Figura 100) mostra l'existència d'una estructura de gran complexitat amb un nombre relativament alt d'agrupacions, així com d'individus que no pertanyen clarament a cap de les agrupacions definides. Un d'aquests és l'individu MUJ011 del qual ja n'hem fet esment en línies precedents. El seu contingut anormalment alt en CaO és el principal responsable de la seva ubicació marginal a l'esquerra del dendrograma, unint-se amb la resta d'individus a una distància ultramètrica gairebé 6 cops superior a la que es produeix l'anterior fusió.

La primera de les agrupacions que han pogut ser definides ha estat etiquetada com MUJ-B1. Aquesta agrupació està formada només per tres individus Laietana 1/Tarraconense 1 (MUJ053, MUJ043, MUJ059). No obstant, la composició d'aquests individus és especialment semblant a la d'un altre conjunt format de manera exclusiva pel tipus Laietana 1/Tarraconense 1 (MUJ044, MUJ058, MUJ052, MUJ049, MUJ057, MUJ045, MUJ047), raó per la qual hem decidit etiquetar-la com MUJ-B1'. De fet, la separació d'ambdues agrupacions és deguda exclusivament a lleugeres variacions en els components CaO i Ba, que haurien afectat puntualment a diferents individus. Així,

donada la relativa similitud existent amb la resta dels elements, i que tots els indicis apunten a que aquestes variacions serien resultat d'un procés de contaminació puntual que s'hauria produït, molt probablement, durant el període d'enterrament de les ceràmiques, els individus de MUJ-B1 i MUJ-B1' s'han d'entendre que formarien part d'un mateix grup químic. Situat entre aquests individus apareix el grup MUJ-A1, format també per només tres individus, en aquest cas del tipus Pascual 1. Igualment, l'agrupació MUJ-A2 està formada per quatre individus Pascual 1 i es diferencia de les anteriors agrupacions per lleugeres diferències composicionals, però que afecten a un nombre elevat d'elements. Al seu costat es forma la major agrupació d'individus Pascual 1, MUJ-A3; concretament aquest grup està format per 13 individus Pascual 1 i per 1 Laietana 1/Tarraconense 1 (MUJ056).

El cinquè grup identificat, MUJ-B2, també està format per 14 individus, per bé que mostra major heterogeneïtat en els dissenys amforals que hi són representats; d'aquests 14 individus, 10 són Laietana 1/Tarraconense 1 i els 4 restants Pascual 1. Cal dir que dins d'aquesta agrupació, els individus MUJ033, MUJ039, MUJ036, MUJ054, MUJ055, MUJ038 i MUJ040, tots ells corresponents al tipus Laietana 1/Tarraconense 1, són els que mostren les majors similituds composicionals.

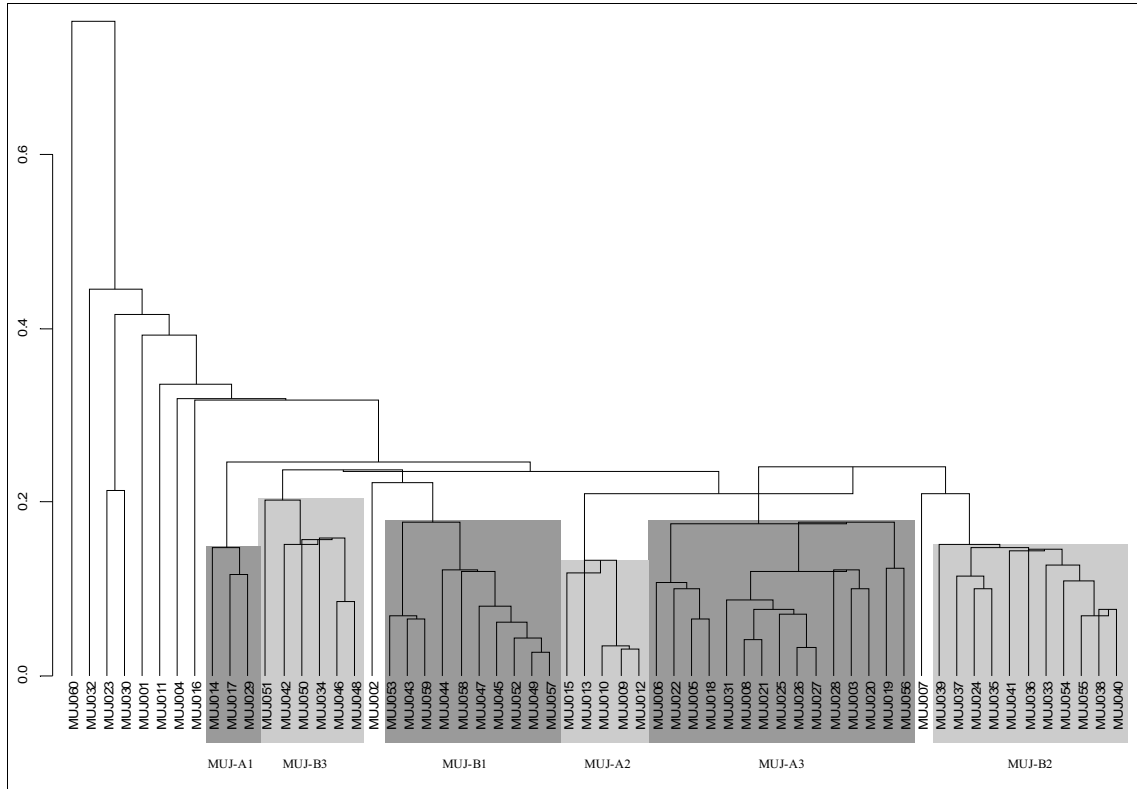
Finalment, el darrer grup identificat és el MUJ-B3. Seguint la tendència dels grups anteriors, els individus que el conformen corresponen a un mateix disseny amforal; en aquest cas concret els set individus es classifiquen com a Laietana 1/Tarraconense 1. Dins d'aquest grup, l'individu MUJ060 és el que presenta majors diferències composicionals respecte la resta, les quals són degudes fonamentalment a



**Figura 100.** Dendrograma resultants de l'anàlisi de conglomerats dels 60 Ic d'El Mujal, emprant la distància euclidiana al quadrat i l'algoritme aglomeratiu del centroides sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, emprant el Nb com a divisor.

unes concentracions relatives més altes en Zr i baixes en MnO, MgO, K<sub>2</sub>O, Ce, Ga i Zn.

Per confirmar la consistència d'aquestes agrupacions s'ha tornat a repetir una anàlisi de conglomerats sobre la subcomposició anterior, però exclouent-hi el component CaO, així com els metalls alcalinoterris que li estan associats Ba i Sr. Un cop excloses aquestes fonts de variabilitat, una part de la qual, com hem dit, podria deure's a contaminacions puntuals, la MVC dóna com a resultat una variació total ( $vt=0.21643$ ) considerablement inferior a l'obtinguda anteriorment, però com en el cas anterior, proporcionada per bona part dels vector columna. Per a set d'aquests vectors ( $\tau_{\text{MnO}}$ ,  $\tau_{\text{MgO}}$ ,  $\tau_{\text{Na}_2\text{O}}$ ,  $\tau_{\text{Zr}}$ ,  $\tau_{\text{Ce}}$ ,  $\tau_{\text{Ni}}$  i  $\tau_{\text{Cr}}$ ) la variació total de l'estructura de covariància representa encara menys del 50% dels seus valors ( $vt/\tau_i < 0.5$ ) (Taula 39, Annex 1). El dendrograma resultant de la nova anàlisi de conglomerats es presenta en la Figura 101. Es pot veure com ara el dendrograma apareix menys comprimit en comparació amb l'anterior a causa d'haver eliminat la part important de variabilitat introduïda pel contingut en CaO de l'individu MUJ011. Malgrat això, les altres diferències que presenta aquest individu en els continguts de TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, Rb, Ga i Cr són suficientment importants com per a que no formi part de cap agrupació i es mantengui en la part esquerra del gràfic, on hi resten els altres individus que no pertanyen a cap dels grups definits. D'altra banda, és interessant observar com els grups químics definits prèviament es mantenen pràcticament sense canvis importants. Els canvis que es produeixen afecten a l'agrupació MUJ-B3, de la que hi deixa de formar part l'individu MUJ060, el qual queda ara sense agrupar en la part esquerra del dendrograma, degut a les diferències composicionals esmentades més a dalt. Conseqüentment, es pot concloure que en l'anterior dendrograma aquest individu s'agrupava a aquest grup exclusivament a causa d'uns similars continguts relatius en CaO, Ba i Sr.



**Figura 101.** Dendrograma resultant de l'anàlisi de conglomerats dels 60 Ic d'El Mujal, emprant la distància euclidiana al quadrat i l'algorisme aglomeratiu del centroide sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Y}$ ,  $\text{Ce}$ ,  $\text{Ga}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Ni}$  i  $\text{Cr}$ , emprant el  $\text{Nb}$  com a divisor.

D'altra banda, les similituds composicionals entre els grups definits prèviament com a MUJ-B1 i MUJ-B1' queden confirmades i ara passen a formar una mateixa agrupació (MUJ-B1), fusionant-se a una distància ultramètrica menor. A l'agrupació MUJ-A2 se li afegeix l'individu MUJ010, el qual en l'anterior dendrograma restava sense agrupar a l'esquerra del gràfic a causa dels seus valors relativament més elevats en  $\text{CaO}$ . L'exclusió d'aquest component de l'anàlisi de conglomerats confirma la seva similitud composicional amb la resta de Pascual 1 del grup MUJ-A2. A l'agrupació MUJ-A3 se li afegeix l'individu MUJ019 i, per tant, es confirma com l'agrupació formada per un major nombre d'individus, 14 Pascual 1 i 1 Laietana 1/Tarraconense 1. Finalment, l'agrupació MUJ-B2 queda configurada per un nombre menor d'individus però amb una homogeneïtat química relativament major. Així, l'individu MUJ019 passa, com ja hem dit, a formar part de MUJ-A3, mentre que les diferències de l'individu MUJ007 queden més accentuades, cosa que el situa a l'esquerra de l'agrupació, fusionant-se a una distància ultramètrica major i sense que es pugui

considerar com un membre clar d'aquest grup químic. Igualment, les diferències composicionals que presenta l'individu MUJ016, especialment remarcables en els casos de MnO, Ce i Zn, són les responsables que aquest individu quedi ara situat en la part esquerra del dendrograma, sense formar part de cap de les agrupacions definides.

Així doncs, els dos dissenys amforals caracteritzats procedents d'El Mujal apareixen representats per diferents pastes característiques de cada tipus, de manera que els grups MUJ-A1, MUJ-A2 i MUJ-A3 es corresponen amb la seva pràctica totalitat amb el tipus Pascual 1 (a excepció feta de l'individu Laietana 1/Tarraconense 1 MUJ056 que forma part de l'agrupació MUJ-A3), i els grups MUJ-B1, MUJ-B2 i MUJ-B3 es corresponen amb la seva pràctica totalitat amb el tipus Laietana 1/Tarraconense 1 (a excepció feta de l'individu Pascual 1 MUJ024 que forma part de l'agrupació MUJ-B2) (Taules 40 i 41, Annex 1).

Com ja hem exposat, les diferències entre aquestes agrupacions no es poden considerar molt accentuades, per bé que existeix una variació relativament important a l'interior dels grups. En termes generals, aquesta variació química és menor en les agrupacions de Laietana 1/Tarraconense 1, el que concorda amb els resultats obtinguts en l'experiment de remostreig aleatori II en el qual es constata que el subconjunt de 5 Ic de menor *vt* dels 2000 generats aleatòriament estava format exclusivament per individus d'aquest tipus amforal (Taula 22, Annex 1).

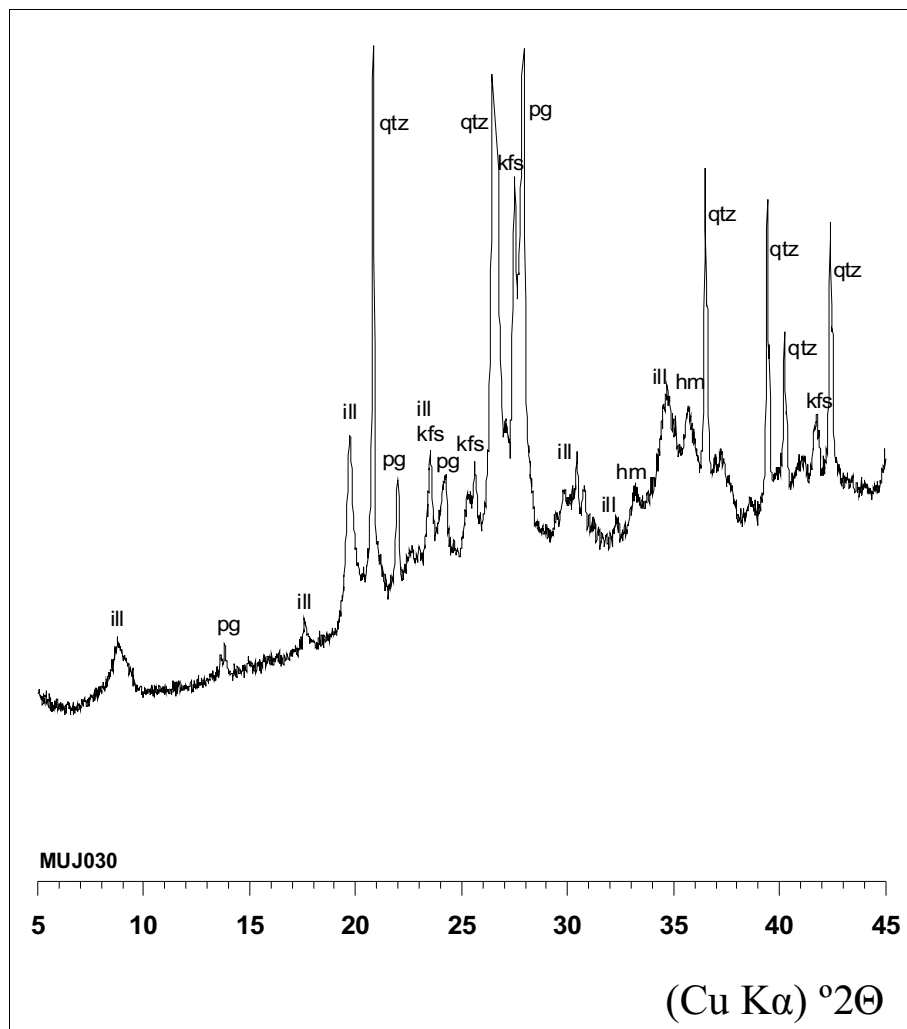
La mitjana i desviació estàndard dels elements químics per a cada un dels grups definits es presenta en les Taules 42 i 43 (Annex 1).

### 8.3.2 Caracterització mineralògica

L'estudi dels difractograms obtinguts en l'anàlisi per Difracció de Raigs X (DRX) dels 60 individus d'El Mujal suggereix l'existència d'un total de 5 fàbriques diferents (MUJ-I, MUJ-II, MUJ-III, MUJ-IV i MUJ-V) en funció de l'associació de fases cristal·lines que presenten (Taula 44, Annex 1).

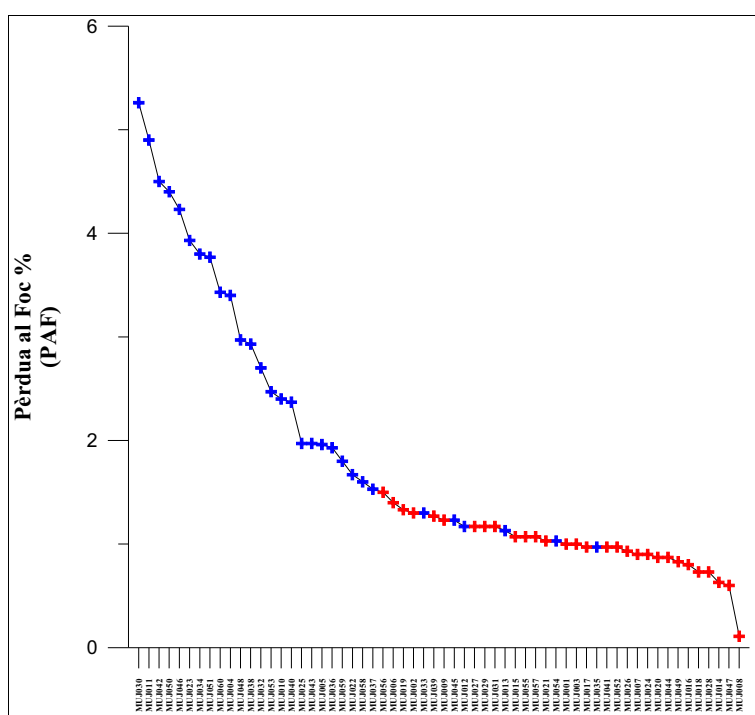
La primera fàbrica, que ha estat etiquetada com a MUJ-I, és la que agrupa a un major nombre d'individus; un total de 29, dels quals 19 són Laietana 1/Tarraconense 1 (MUJ033, MUJ034, MUJ035, MUJ036, MUJ037, MUJ038, MUJ040, MUJ042, MUJ043, MUJ045, MUJ046, MUJ048, MUJ050, MUJ051, MUJ053, MUJ054,

MUJ058, MUJ059, MUJ060) i els 10 restants Pascual 1 (MUJ004, MUJ005, MUJ010, MUJ011, MUJ012, MUJ013, MUJ022, MUJ023, MUJ025, MUJ030, MUJ032). Els difractogrames d'aquests individus mostren uns pics molt marcats de fil·losilicats del grup de les il·lites-moscovites, quars, feldspat potàssic, plagiòclasi i hematites. En la Figura 102 es pot veure el difractograma representatiu d'aquesta fàbrica, en aquest cas corresponent a l'individu MUJ030.



**Figura 102.** Difractograma representatiu de la fàbrica MUJ-I. **hm**=hematites, **ill**=il·lita-mocovita; **kfs**=feldspat potàssic; **pg**=plagiòclasi; **qtz**=quars.

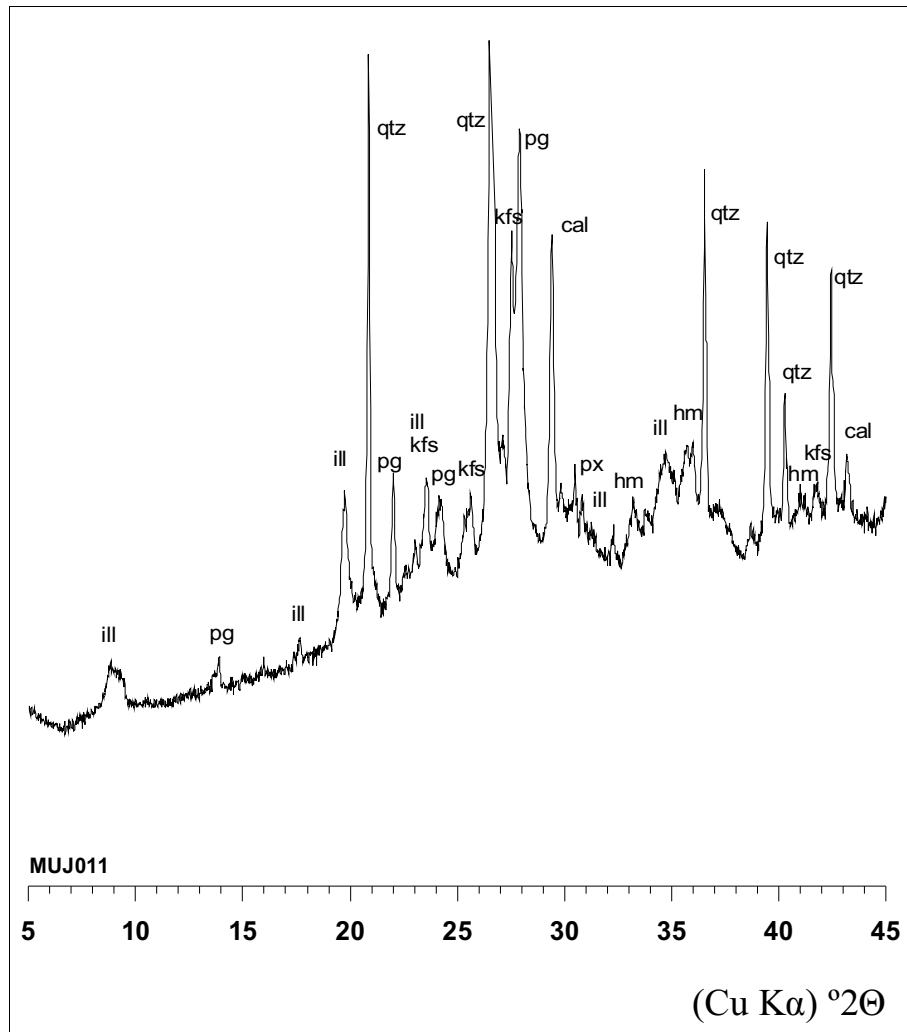
D'acord amb la presència marcada dels pics principals de les il·lites-moscovites i al relatiu desenvolupament dels pics d'hematites —assumint que les fases suara esmentades siguin primàries—, així com l'absència de fases de cocció clares, es podria estimar per als individus que presenten aquesta fàbrica una TCE inferior als 850-900°C. Aquest rang de baixes temperatures estaria d'acord amb el fet que els individus d'aquesta fàbrica mostren, llevat d'algunes excepcions puntuals, els majors percentatges de Pèrdua al Foc (PAF) (Figura 102). Així, assumint que part de la PAF representa els grups hidròxils (OH)<sup>-</sup> encara presents en les ceràmiques, seria d'esperar que a menor TCE s'obtingués un major percentatge en el càlcul de la PAF.



**Figura 103.** Gràfic bivariant dels individus d'El Mujal, en absisses, ordenats per rang descendent en funció del percentatge de Pèrdua al Foc (PAF), en ordenades. Les creus de color blau representen els individus de la fàbrica MUJ-I i les de color vermell els de fàbriques de major TCE.



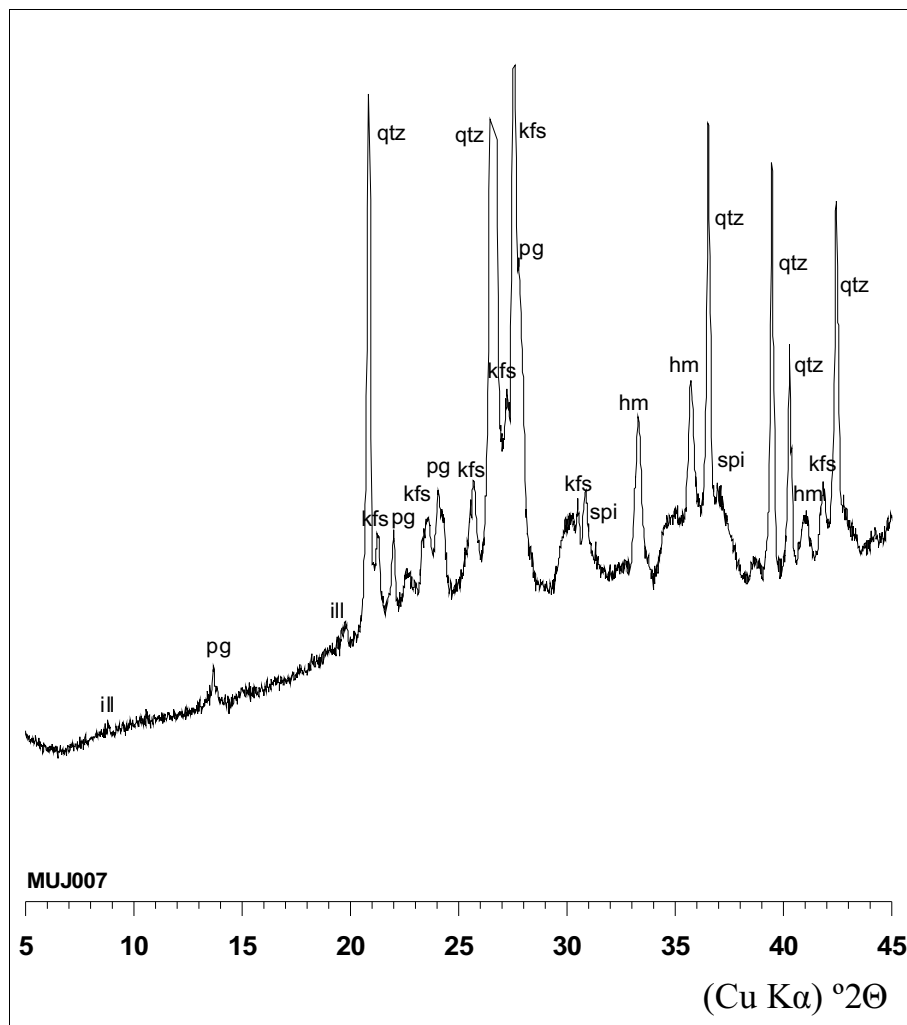
La segona fàbrica identificada, MUJ-II, està representada només per un individu, MUJ011 (Figura 104). De fet, el difractograma mostra la mateixa associació de fases cristal·lines que la fàbrica anterior però amb l'afegit de pics de calcita. La presència dels pics molt marcats de fil·losilitasts del grup de les il·lites, així com la presència de pics de calcita, assumint que sigui d'origen primari i que, per tant, encara no s'hagués produït el procés de dissociació, tot i que comencen a observar-se possibles pics incipients de piroxens, permeten suggerir una TCE similar a la fàbrica anterior, per sota del rang 850-900°C.



**Figura 104.** Diffractograma representatiu de la fàbrica MUJ-II. **cal**=calcita; **hm**=hematites, **ill**=il·lita-moscovita; **kfs**=feldspat potàssic; **pg**=plagiòclasi; **px**=piroxè; **qtz**=quars.

La tercera fàbrica, MUJ-III, agrupa un total d'onze individus, set Laietana 1/Tarraconense 1 (MUJ039, MUJ041, MUJ044, MUJ052, MUJ055, MUJ056, MUJ057) i quatre Pascual 1 (MUJ006, MUJ007, MUJ008, MUJ009). Els diffractogrames mostren com a fases principals quars, feldspat potàssic i plagiòclasi. A més, en comparació a les dues fàbriques precedents cal remarcar la reducció d'intensitat en els pics característics de les il·lites-moscovites, així com un augment significatiu en la intensitat dels pics d'hematites. Finalment, en els diffractogrames d'aquests individus s'identifiquen pics

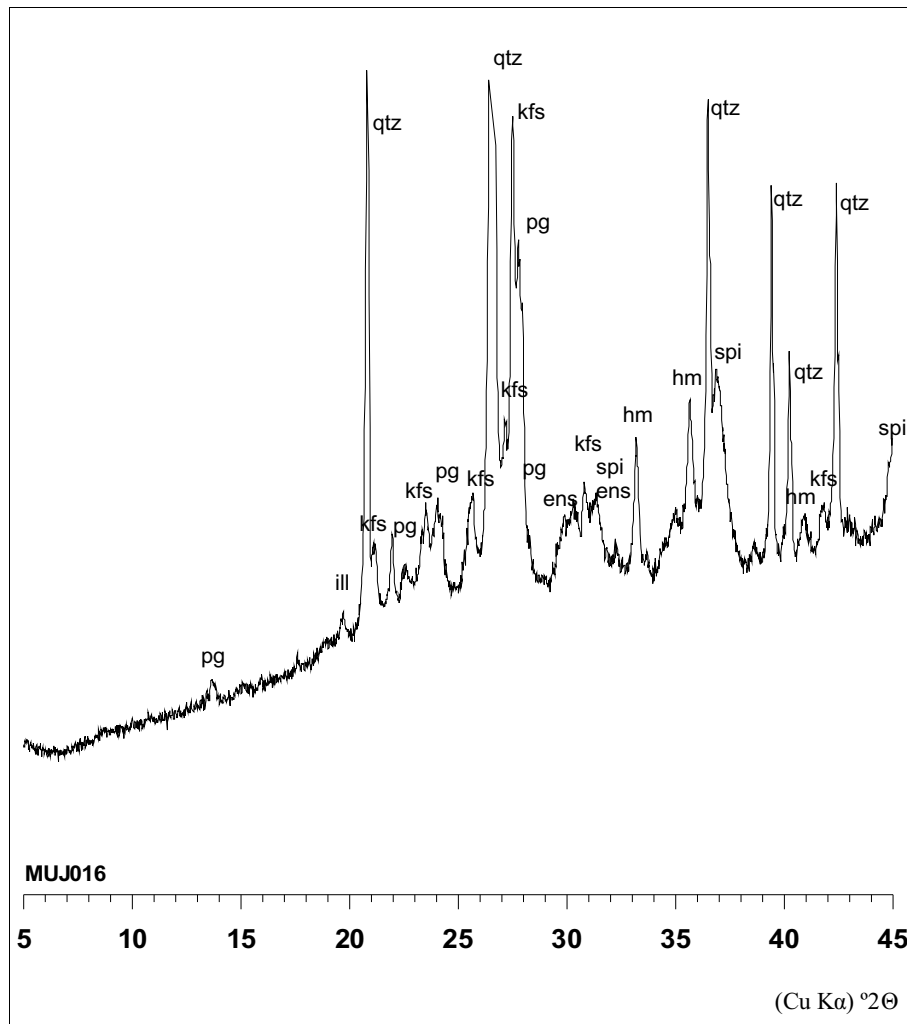
incipients d'espinel·la, fase que acostuma a cristal·litzar durant la cocció, especialment en ceràmiques poc calcàries cuites en condicions predominantment oxidants (Maggetti 1981). El difractograma de l'individu MUJ007 es considera representatiu de l'associació de fases que caracteritzen aquesta fàbrica (Figura 105). D'acord amb les observacions realitzades es pot estimar una TCE entre 850-950°C.



**Figura 105.** Difractograma representatiu de la fàbrica MUJ-III. **hm**=hematites, **ill**=il·lita-mocovita; **kfs**=feldspat potàssic; **pg**=plagiòclasi; **qtz**=quars; **spi**=espinel·la.

La quarta fàbrica, etiquetada com MUJ-IV, agrupa vuit individus dels quals un és del

tipus Laietana 1/Tarraconense 1 (MUJ049) i els set restants del tipus Pascual 1 (MUJ002, MUJ003, MUJ016, MUJ019, MUJ024, MUJ027, MUJ031). En la Figura 106 es pot veure el difractograma de l'individu MUJ016, representatiu d'aquesta fàbrica.

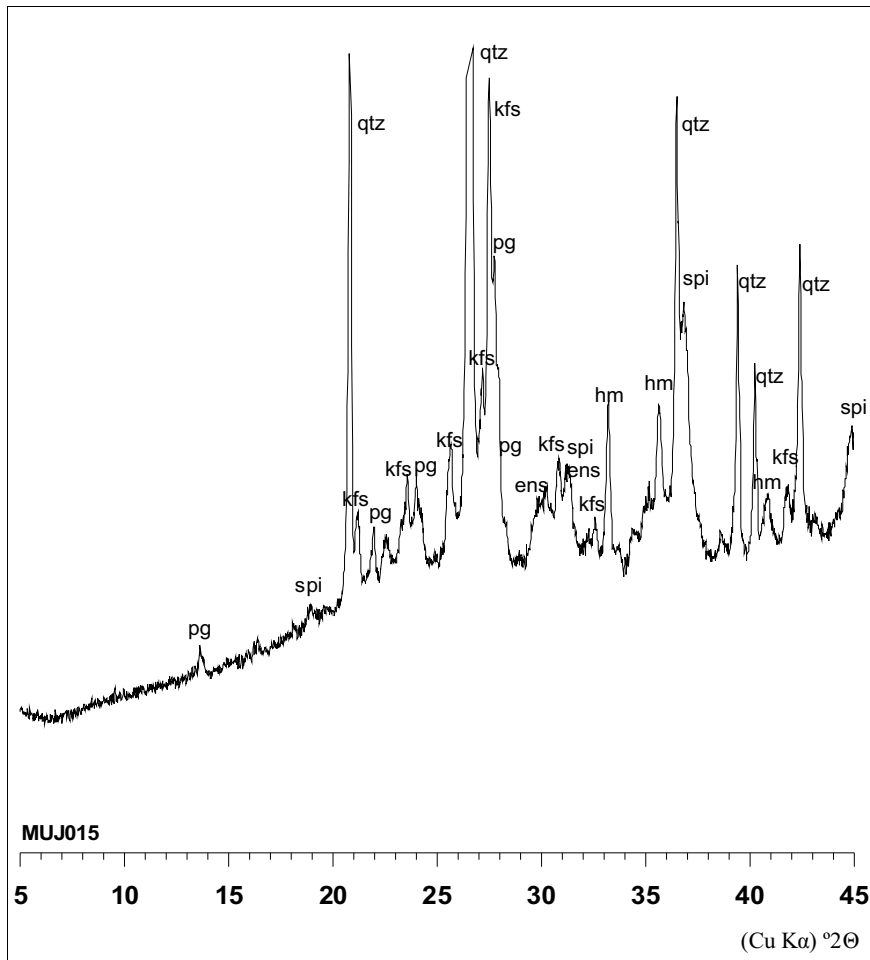


**Figura 106.** Difractograma representatiu de la fàbrica MUJ-IV. **ens**=enstatita; **hm**=hematites, **ill**=il·lita-moscovita; **kfs**=feldspat potàssic; **pg**=plagiòclasi; **qtz**=quars; **spi**=espinel·la.

La principal diferència respecte la fàbrica anterior és la clara disminució dels pics dels filosilicats d'il·lites-moscovites, amb la desaparició del pic  $10 \text{ \AA}$  ( $8.83^\circ 2\theta$ ). També cal destacar un fort desenvolupament en la majoria d'individus dels pics d'hematites i d'espinel·la, i l'aparició d'enstatita com a probable fase de cocció. La resta

de fases principals que s'observen en aquestes difractogrames són quars, feldspat potàssic i plagiòclasi. La presència d'il·lites, tot i la baixa intensitat dels pics, indicaria que amb molta probabilitat la cocció d'aquestes àmfores no hauria superat els 950-1000°C. D'altra banda, la presència clara de pics d'espinel·la i enstatita com a probables fases de cocció podria indicar una temperatura superior als 900°C, per tant, la TCE estimada per als individus d'aquesta fàbrica se situaria en el rang 900/950-1000°C.

Finalment, la fàbrica MUJ-V agrupa onze individus dels quals un és del tipus Laietana 1/Tarraconense 1 (MUJ047) i deu del tipus Pascual 1 (MUJ001, MUJ014, MUJ015, MUJ017, MUJ018, MUJ020, MUJ021, MUJ026, MUJ028, MUJ029). Aquesta fàbrica presenta dues grans diferències respecte les anteriors (Figura 107). D'una banda, en tots els individus destaca la completa descomposició de les il·lites-moscovites, el que suggereix que la temperatura de cocció de les àmfores hauria superat probablement els 950-1000°C. D'altra, el major desenvolupament de les fases de cocció típiques de ceràmiques poc calcàries com l'espinel·la i l'enstatita. Pel que fa a la resta de fases, es manté la presència de quars, feldspat potàssic, plagiòclasi, així com de pics ben desenvolupats d'hematites. Així, tenint en compte la completa desaparició dels pics d'il·lites-moscovites i el desenvolupament clar de les fases de cocció, es suggereix una TCE per aquests individus lleugerament superior als 1000°C.



**Figura 107.** Difractograma representatiu de la fàbrica MUJ-V. **ens**=enstatita; **hm**=hematites; **kfs**=feldspat potàssic; **pg**=plagiòclasi; **qtz**=quars; **spi**=espinel·la.

### 8.3.3 Conclusions

L'anàlisi estadística sobre els resultats de FRX ha permès definir fins a un total de 6 grups químics entre el conjunt d'àmfores analitzades d'El Mujal. Les pastes definides destaquen per un contingut relativament elevat en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  —de fet, junt amb els dels individus de Can Notxa són els més elevats de tots els centres productors considerats— i per un contingut molt baix de  $\text{CaO}$  (Taules 42 i 43). Aquests alts continguts en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  estarien en consonància amb el context geològic més immediat d'aquest jaciment on hi

abunden afloraments metal·lífers rics en òxid de ferro.

Junt a les sis agrupacions definides, han quedat un total de 10 individus sense classificar, és a dir, que no han pogut ésser afiliats de manera clara a cap d'aquestes agrupacions. D'aquests individus, 9 són Pascual 1 i 1 és del tipus Laietana 1/Tarraconense 1.

Així mateix, des del punt de vista composicional cal remarcar dues característiques més. D'una banda, les diferències entre els grups no són excessivament grans, ans al contrari. Les diferències composicionals són relativament lleus però afecten a un nombre elevat de components químics. La segona característica està íntimament relacionada amb aquesta darrera; si bé les diferències entre els grups no són molt marcades, la variació química dins dels mateixos grups sí que és, en general, força considerable. Aquest darrer factor, com ja ha estat discutit en repetides ocasions al llarg del discurs, sembla que podria indicar una característica d'importantes implicacions en el procés de producció d'aquestes àmfores, concretament el fet que la preparació de les pastes no sembla haver seguit un procés estrictament estandarditzat, probablement com a corol·lari d'un procés productiu impel·lit a mantenir baixos els costos de producció d'un producte ceràmic la configuració normal del qual és de servir com a envàs del producte que realment governa el preu de mercat. I el que és tant o més important pel fenomen que tractem; en un context polític, social i econòmic en què no hi ha indicis que apuntin a que l'expectativa racional del negoci de la producció i distribució de vi contemplés el trasllat de l'augment dels costos de producció —dels envasos— al consum final del producte <sup>41</sup>.

Pel que afecta la metodologia arqueomètrica, els resultats deixen palesa la dificultat d'establir un sol grup de referència química per a cada centre productor d'àmfores, fins i tot en els casos en què s'analitzen individus recuperats en els mateixos contextos de deposició, pertanyen a un mateix tipus i que la seva producció s'hagi dut a terme, aparentment, en un període relativament curt de temps i amb la presa d'unes eleccions tècniques molt similars. Aquest seria el cas, per exemple, de les produccions de Pascual 1 d'El Mujal, recuperades en contextos que formarien part de la mateixa fase d'utilització de l'abocador d'àmfores, i de les Laietana 1/Tarraconense 1, totes

---

<sup>41</sup> Veure la discussió del Capítol 3.

recuperades en una mateixa unitat estratigràfica. En el cas concret d'aquest centre productor, la variabilitat que resulta en l'existència de diversos grups químics és interpretada principalment com a funció de dos factors. El primer ja l'hem esmentat: la variabilitat deguda a un procés relativament poc estandarditzat en la preparació de les pastes. El segon factor, que també està relacionat amb el procés de producció, seria l'explotació de diferents àrees d'aprovisionament de les materies primeres durant el període de funcionament del centre, tot i que situades dins d'una mateixa context geoquímic de característiques molt semblants. Com a conclusió especulativa, també es podria considerar la possibilitat que l'abocador d'El Mujal hagués funcionat com a dipòsit dels rebutjos generats per diferents tallers que podrien haver operat en la mateixa àrea.

Un altre aspecte interessant que es desprèn de la caracterització arqueomètrica és que el sis grups de referència definits agrupen de manera pràcticament exclusiva àmfores d'un mateix disseny (Taules 40-43). Aquest aspecte és força interessant per diversos motius. D'una banda, es constata que, si assumim que tots els individus de l'abocador d'El Mujal provenen del mateix centre productor, el canvi en l'àrea d'extracció de les argiles s'hauria produït tant pel que fa a les primeres produccions de Laietana 1/Tarraconense 1, com a les posteriors de Pascual 1. Ara bé, aquest canvi no sembla haver estat induït per factors tècnics que pugin haver afectat el comportament dels envasos ni la seva fabricació. Dit amb altres paraules, no hi ha cap indicatiu que faci pensar en un criteri tècnic com a causa subjacent del canvi en les argiles. Això comporta que la producció d'àmfores d'El Mujal segueix un model clarament diferenciat al d'altres centres productors veïns, com el de Ca l'Arnau-Can Pau Ferrer, en el qual s'interpreta que, junt a canvis en les argiles base, hi ha canvis induïts per factors tècnics en la recerca de pastes progressivament més calcàries, i aproximadament en paral·lel al canvi en el disseny de les àmfores (Martinez 2007: 307-346).

No obstant, si bé no hi ha diferències significatives que, des del punt de vista químic, hagin pogut afectar les característiques tècniques de les àmfores, sí que es constaten diferències rellevants en altres aspectes que afecten la tecnologia de producció entre els dos tipus amforals considerats. D'una banda, i malgrat que la mostra analitzada és petita i requereix ser ampliada en futurs estudis, la caracterització granulomètrica



suggereix, com ja hem discutit en l'apartat 7.4.3, l'existència d'importantes diferències en les produccions de Laietana 1/Tarraconense 1 i de Pascual 1 d'El Mujal; el primer tipus mostra en general una menor fracció per volum d'inclusions no plàstiques, així com una mida de les inclusions considerablement menor. D'acord amb aquestes observacions es constata també que per a aconseguir uns productes ceràmics d'unes resistències a la fractura relativament altes, les fàbriques més fines, similars a les descrites per a la Laietana 1/Tarraconense 1, requereixen menors temperatures de cocción, mentre que en el cas de les fàbriques descrites per a les Pascual 1, són clarament necessàries coccions més altes, tendència que es reflecteix en la caracterització mineralògica i la subseqüent estimació de les TCE d'El Mujal. En aquest cas, la majoria de Laietana 1/Tarraconense 1 mostren unes TCE relativament baixes, és a dir inferiors a 850°C, concretament un 67.86% d'aquestes àmfores, o bé en el rang superior de 850-950°C, concretament un 25% d'aquestes àmfores. Només aproximadament un 7.14% (2 individus) superen una TCE de 900/950-1000°C. Certament, l'estudi dels centres receptors, amb la possible identificació de la provinença de les àmfores i l'avaluació de la seva distribució i el seu consum, hauria d'ajudar a solucionar la complexitat i la diversitat que s'observa en la producció d'aquestes pastes però, en qualsevol cas, s'hauria de començar a valorar la possibilitat que les diferències tecnològiques d'aquests dos tipus amforals a El Mujal podrien reflectir diferents tradicions ceràmiques que haurien operat conjuntament.

En qualsevol cas, a partir dels resultats obtinguts es dedueix que tant els estudis de canvi tecnològic com els estudis de provinença d'aquestes àmfores s'han de fonamentar necessàriament en la caracterització rigurosa dels centres productors, ja que d'altra manera no seria perceptible i, per tant, difícilment interpretable, la complexitat tecnològica i la varietat de pastes que aparentment són producte d'un mateix centre productor.

#### **8.4 C/ de Guillem de Palafolls (Malgrat de Mar)**

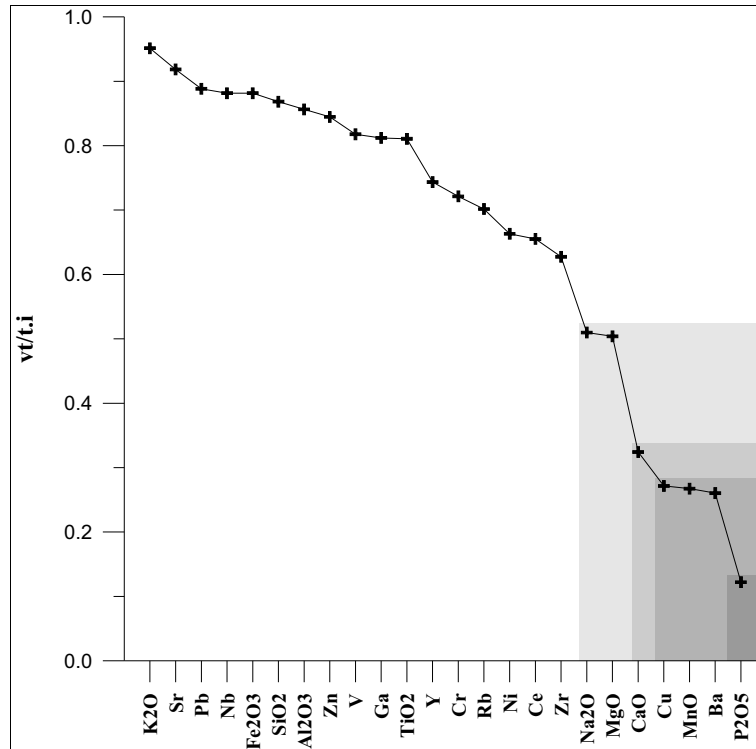
El jaciment del C/ de Guillem de Palafolls es troba a poc més de 7.5 km en línia recta

del jaciment d'El Mujal. Com en el cas anterior, aquest jaciment és interpretat com un centre productor a partir d'un dipòsit que hauria funcionat com abocador d'àmfores, malgrat que se'n desconeix l'existència d'estructures de forn. El dipòsit estava format des de l'inici de l'activitat, al voltant del darrer terç de segle I aC, per àmfores del tipus Pascual 1 i Dressel 2-4. La cronologia final per a aquest abocador s'estima entre els anys 30-40 dC.

Procedents d'aquest dipòsit s'han caracteritzat un total de 32 individus que representen els dos tipus amforals esmentats; 17 corresponen a individus del tipus Pascual 1 (PLF001-PLF013, PLF018 i PLF019-PLF021) i 15 al tipus Dressel 2-4 (PLF014-PLF017 i PLF022-PLF032).

#### 8.4.1 Caracterització química

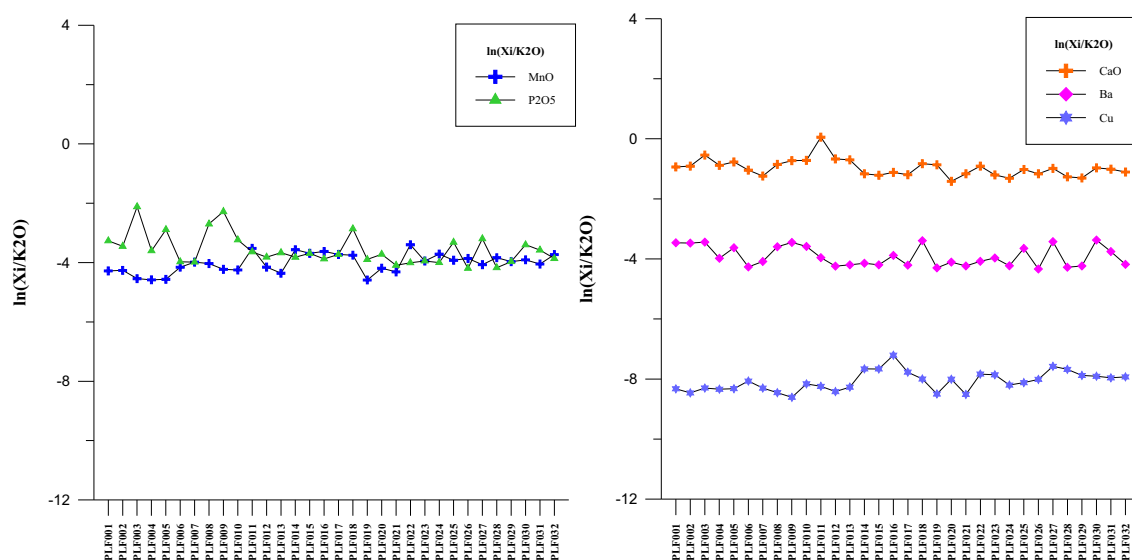
La matriu de variació composicional (MVC) calculada sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (com a Fe total),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , MnO,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$ , MgO, CaO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Cu, Ni i Cr (Taula 45, Annex 1) dóna com a resultat una variació total que s'ha de considerar considerablement elevada ( $vt=0.85527$ ), assumint el caràcter monogènic de la mostra analitzada. Aquest valor se situa clarament en la part alta dels resultats obtinguts en l'experiment de remostreig aleatori II. Per tal d'explorar l'origen d'aquesta elevada variabilitat hem examinat els valors  $vt/\tau_i$  obtinguts en la MVC. Aquests valors apareixen representats gràficament en la Figura 108. L'element que més variabilitat aporta a tot el conjunt de dades és el  $\text{P}_2\text{O}_5$ , per al qual la variació total de l'estructura de covariància representa menys de l'15% del seu valor  $\tau_i$  ( $\tau_{\text{P}_2\text{O}_5}=7.00952$ ;  $vt/\tau_{\text{P}_2\text{O}_5}=0.12202$ ), seguit pel Ba ( $\tau_{\text{Ba}}=3.28384$ ;  $vt/\tau_{\text{Ba}}=0.26045$ ), Mn ( $\tau_{\text{MnO}}=3.19973$ ;  $vt/\tau_{\text{MnO}}=0.26729$ ), Cu ( $\tau_{\text{Cu}}=3.14987$ ;  $vt/\tau_{\text{Cu}}=0.27152$ ) i CaO ( $\tau_{\text{CaO}}=2.63784$ ;  $vt/\tau_{\text{CaO}}=0.32423$ ). A continuació d'aquests components, cal destacar també l'aportació del MgO i el  $\text{Na}_2\text{O}$ , per als quals la variació total de l'estructura de covariància representa un 50.38 i 50.97% dels seus respectius valors  $\tau_i$ . D'altra banda, el component que menys variabilitat mostra de tot el conjunt de dades composicionals és el  $\text{K}_2\text{O}$  per al que la variació total de l'estructura de covariància és superior al 95% del seu valor  $\tau_i$  ( $\tau_{\text{K}_2\text{O}}=0.89889$ ;  $vt/\tau_{\text{K}_2\text{O}}=0.95147$ ). Això el converteix en un dels millors candidats per a ésser utilitzat com a divisor en la transformació logarítmica.



**Figura 108.** Gràfic bivariant dels elements químics retinguts per a l'anàlisi ordenats per rang descendent (en abscesses) en funció dels valors  $vt/\tau_i$  (en ordenades).

Un examen detallat de la composició química dels individus mostra com els elements que aporten més variabilitat manifesten un comportament diferenciat. En la Figura 109 es representen gràficament els valors dels components  $P_2O_5$ ,  $MnO$ ,  $CaO$ ,  $Ba$  i  $Cu$  transformats en logaritmes de raons emprant el  $K_2O$  com a divisor. Com es pot veure en el gràfic de l'esquerra el  $P_2O_5$  mostra una gran variació que afecta de manera aparentment indiscriminada a determinats individus —aquest seria el cas clarament dels individus PLF003, PLF008 i, especialment, PLF009—, a diferència, dels valors transformats de  $MnO$  que dibuixen una distribució aparent més equilibrada en termes de valors alts i baixos. Com ja hem vist en repetides ocasions, aquesta variabilitat en els continguts de  $P_2O_5$ , part de la qual sembla que podria respondre a contaminacions produïdes durant el període d'enterrament de les ceràmiques són especialment freqüents

en aquestes produccions amforals.



**Figura 109.** Gràfics bivariants amb els individus analitzats, en absisses, i les corresponents concentracions relatives de MnO i P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (esquerra), i CaO, Ba i Cu (dreta), en ordenades.

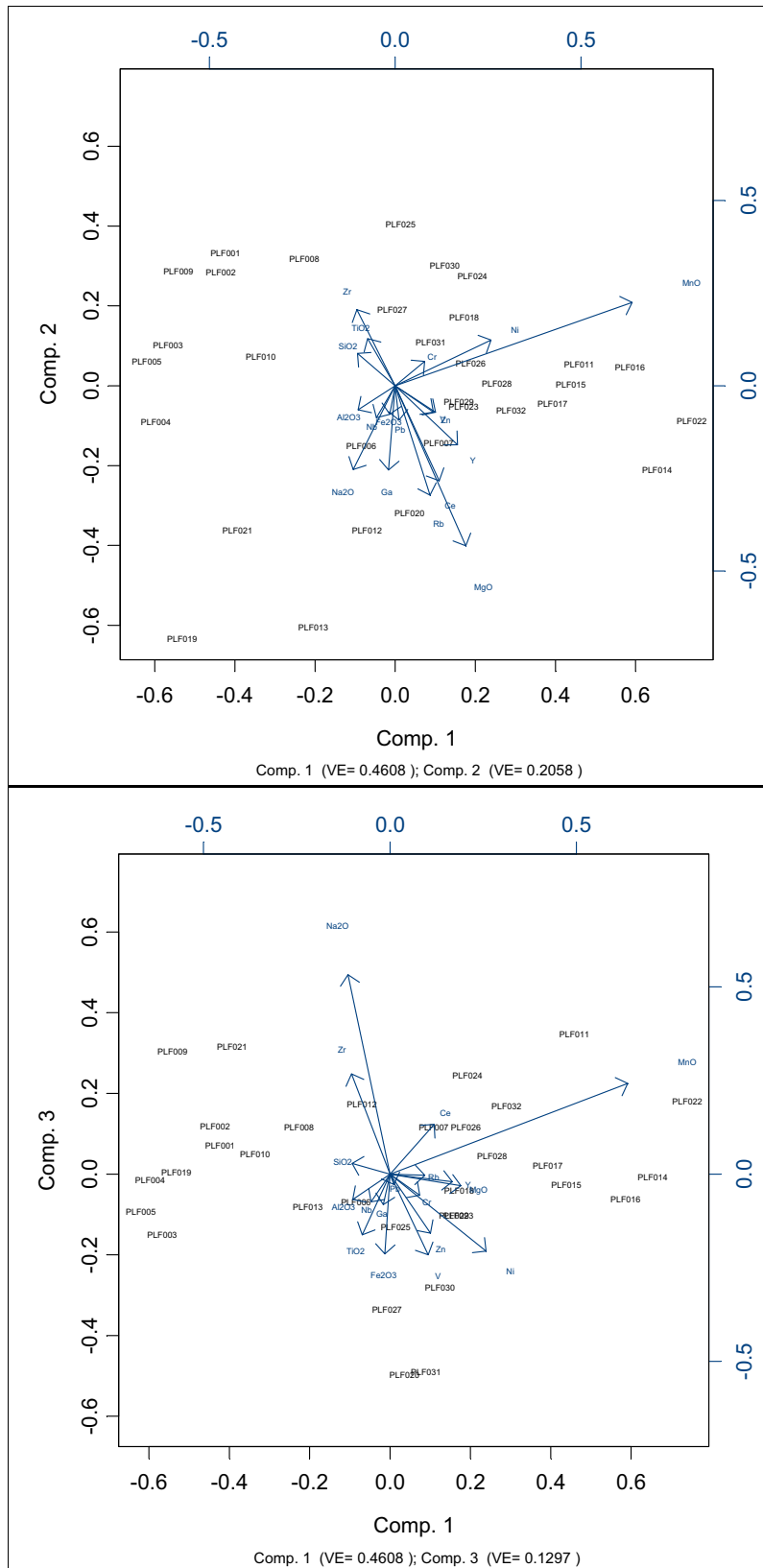
En el gràfic de la dreta es pot veure com la variació en CaO és deguda especialment a la concentració relativament major de l'individu PLF011, que presenta un contingut en dades normalitzades de 3.25%, mentre que la resta dels individus del conjunt exhibeixen concentracions entre 0.81 i 1.7%, amb un valor mig de  $1.16 \pm 0.22$ . Clarament el Ba i el Cu tenen una major variació i afecten de manera aparentment indiscriminada a diversos individus. En el cas del Ba, són de destacar els valors especialment alts en els individus PLF001-3, PLF005, PLF008-10, PLF018, PLF025, PLF027 i PLF030, mentre que el Cu sembla ser especialment alt en els individus PLF014-16. Així, donada l'especial mobilitat que tindrien aquests tres elements en el context d'enterrament de les ceràmiques, és probable que part de la variabilitat d'aquests elements sigui el resultat de contaminacions que haurien afectat en diferent intensitat als individus d'aquest centre.

El càlcul d'una nova MVC sense considerar els elements que són susceptibles d'incorporar variabilitat deguda a contaminacions i/o alteracions puntuals dona com a resultat una variació total molt reduïda respecte l'obtinguda anteriorment ( $v_t=0.28668$ )

(Taula 46, Annex 1). En aquest cas no s'han tingut en compte els elements ja esmentats ( $P_2O_5$ , CaO, Ba i Cu), ni tampoc l'Sr en tant que element associat normalment al CaO. No obstant la notable reducció en la  $vt$ , cal remarcar que hi ha fins a cinc vectors columna per als quals la variació total de l'estructura de covariància representa menys del 50% del seu valor  $\tau_i$  ( $\tau_{MnO}$ ,  $\tau_{MgO}$ ,  $\tau_{Na_2O}$ ,  $\tau_{Zr}$ ,  $\tau_{Ni}$ ). A continuació, i com a primera aproximació als grups existents en l'estructura de les dades químiques hem realitzat un anàlisi de components principals (ACP) amb rutines del paquet informàtic S-Plus 2000 (MathSoft 1999), sobre la subcomposició  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ , MnO,  $TiO_2$ , MgO,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $SiO_2$ , Rb, Nb, Pb, Zr, Y, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, emprant el  $K_2O$  com a divisor, i treballant sobre la matriu de variàncies-covariàncies sense rotació dels eixos. El gràfic que recull els tres primers components principals es mostra en la Figura 110. En aquest cas, els primers tres components principals expliquen un 79.63% de la variabilitat existent en les variables originals. El primer que s'observa en els dos biplots resultants de l'ACP és una important dispersió de les puntuacions, el que reflecteix, malgrat tot, la variabilitat existent en l'estructura. Un aspecte interessant d'aquesta anàlisi és la separació dels individus Pascual 1 dels Dressel 2-4. Si centrem l'atenció en les puntuacions dels individus es constata clarament com la pràctica totalitat dels individus Pascual 1 (a excepció de PLF007, PLF011, PLF018, PLF020) queden situats a l'esquerra dels biplots, atrets per la part negativa del primer component principal (Comp.1), mentre que la totalitat de les Dressel 2-4 queden situades a la dreta dels biplots, atretes per la part positiva d'aquest Comp.1.

Per tal de avaluar les variables que estan implicades en aquesta tendència hem examinat el pes que mostren les variables originals en els nous components per conèixer quin és el percentatge de la variació que expliquen (Taula 47, Annex 1). El Comp.1 mostra una elevada correlació positiva amb el MnO, del qual explica el 63.4% de la seva variància, i, en menor mesura, amb el Ni, MgO i Y, dels qual explica el 10.4, 5.6 i 4.4% de les seves respectives variàncies. A més, s'observa que els individus que tenen puntuacions positives en el Comp.1 són els que tendeixen a adoptar els valors més alts en MnO, Y, V, Zn, Ni i Cr, mentre que els que tenen puntuacions negatives són els que presenten uns continguts relatius més baixos en aquests elements. Per tant, el Comp.1 que explica el 46.08% de la variabilitat existent en les variables originals representa la

tendència d'aquestes àmfores a seguir una estructura de variació conjunta en què els valors més alts i més baixos en MnO, Y, V, Zn, Ni i Cr permeten diferenciar d'una banda les produccions de Dressels 2-4 de la majoria de Pascual 1.



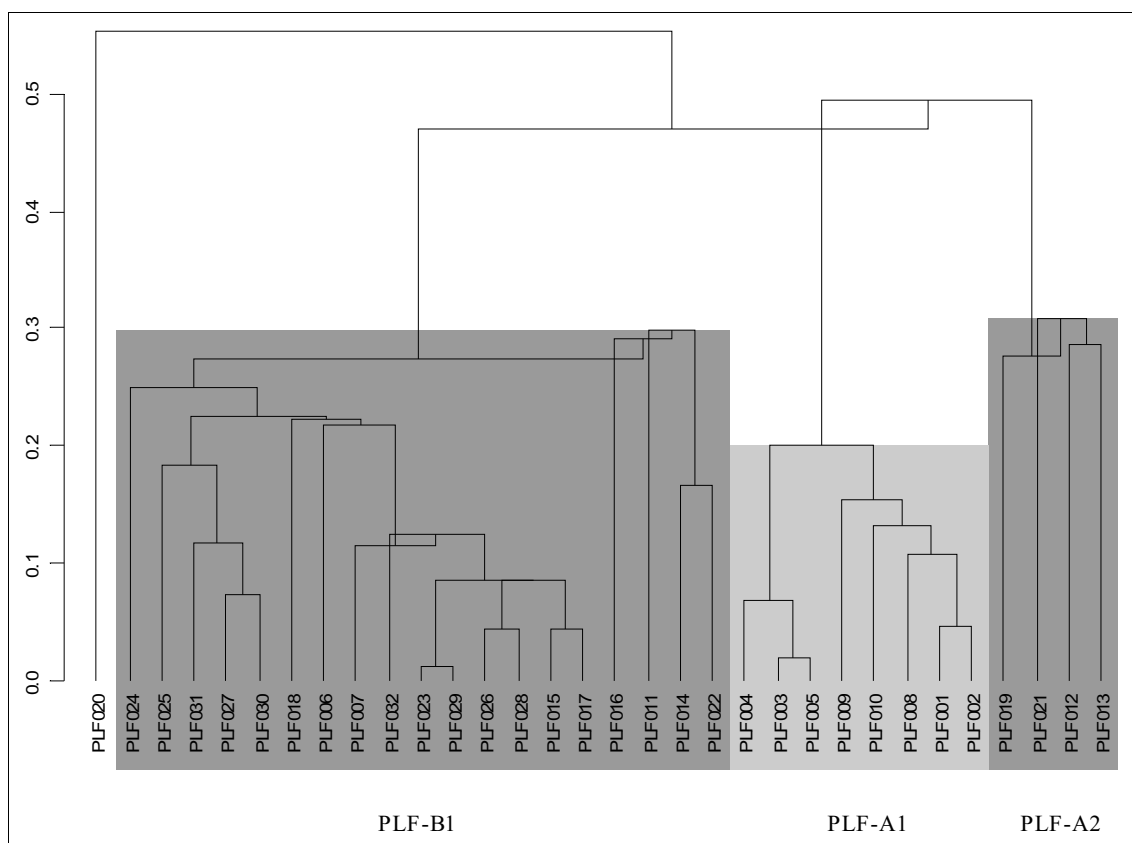
**Figura 110.** Biplot resultant de l'anàlisi de components principals sobre la subcomposició  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ , MnO,  $TiO_2$ , MgO,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $SiO_2$ , Rb, Nb, Pb, Zr, Y, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr emprant el  $K_2O$  com a divisor. Superior: el component principal 1 (en absccisses) i el component principal 2 (en ordenades). Inferior: el component principal 1 (en absccisses) i el component principal 3 (en ordenades).

L'estudi del segon component principal (Comp.2) revela immediatament la seva menor importància en tant que explica un 20.58% de la variabilitat existent en l'estructura. Aquest Comp.2 ve determinat principalment per l'atracció del MgO, Rb, Ce, Ga i Na<sub>2</sub>O als valors negatius i del MnO als valors positius. En aquest cas destaca la correlació positiva moderada entre el MgO, Ce i Rb, com així ho suggereix la superposició dels vectors d'aquests elements, així com la correlació negativa entre aquests elements i el TiO<sub>2</sub> i Zr, com ho indica la tendència d'aquests vectors a formar un angle proper als 180°. Com es pot observar en el biplot, aquest Comp.2 separa en funció d'aquesta estructura de variació conjunta dues agrupacions de Pascual 1, una que a partir d'ara etiquetarem com PLF-A1 (formada pels individus PLF001, PLF002, PLF003, PLF005, PLF008, PLF009 i PLF010), i l'altra que anomenarem PLF-A2 (formada per PLF012, PLF013, PLF019, PLF021). Contràriament, la separació d'agrupacions corresponents al tipus Dressel 2-4 és menys clara a partir d'aquesta ACP.

Finalment, el tercer component principal (Comp.3) només permet explicar el 12.97% de la variació existent en les dades originals. Els pesos de les variables en els components principals (Taula 47, Annex 1) indiquen que aquest Comp.3 està determinat per l'atracció als valors positius del Na<sub>2</sub>O, Zr i MnO, i per l'atracció del V, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i Ni als valor negatius. La major part de la variància recollida per aquest Comp.3 correspon al Na<sub>2</sub>O, del que n'explica un 44.3%.

Per acabar de definir les agrupacions suggerides per l'ACP, hem realitzat una anàlisi de conglomerats sobre la mateixa subcomposició, emprant l'algoritme aglomeratiu del centroide i la distància Euclidiana al quadrat. El resum d'aquesta anàlisi es presenta gràficament en la Figura 111. L'estructura del dendrograma resultant de l'anàlisi de conglomerats permet identificar un total de quatre grans agrupacions. La primera està formada per un sol individu Pascual 1 (PLF020), situat a l'esquerra del gràfic. La seva unió amb la resta d'individus del centre representa la darrera fusió del dendrograma, la qual es produeix a una distància ultramètrica superior als 0.5. Les diferències composicionals que provoquen que aquesta fusió es realitzi a una distància ultramètrica major al de la resta són degudes en bona mesura a uns continguts relatius anormalment més baixos en Zr i més alts en Rb i, en menor mesura, Nb i Ga.





**Figura 111.** Dendrograma resultant de l'anàlisi de conglomerats dels 32 Ic del C/ de Guillem de Palafolls, emprant la distància euclidiana al quadrat i l'algoritme aglomeratiu del centre sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Rb, Nb, Pb, Zr, Y, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, emprant el  $\text{K}_2\text{O}$  com a divisor.

El següent grup químic que es defineix, PLF-B1, agrupa a la major part dels individus d'aquest centre (PLF006, PLF007, PLF011, PLF014, PLF015, PLF016, PLF017, PLF018, PLF022, PLF023, PLF024, PLF025, PLF026, PLF027, PLF028, PLF029, PLF030, PLF031, PLF032). En aquesta agrupació queden recollits tots els individus del tipus Dressel 2-4, als quals s'hi afegeixen quatre individus Pascual 1 (PLF006, PLF007, PLF011, PLF018). Aquests resultats concorden amb els obtinguts

prèviament en l'ACP on els valors positius i negatius del Comp.1 separava les produccions dels dos tipus amforals, a excepció dels individus Pascual 1 PLF007, PLF011, PLF018 i PLF020, mentre que l'individu PLF006 mostrava unes puntuacions que el situaven en el límit dels valors positius i negatius d'aquest Comp.1. Així, mitjançant l'anàlisi de conglomerats aquests individus també queden inclosos dins de l'agrupació formada majoritàriament per Dressel 2-4, mentre que l'individu PLF020, com ja hem vist, queda en una situació marginal a l'esquerra del dendrograma. A més, cal dir que aquest resultat concorda amb l'obtingut en l'experiment de remostreig aleatori II, en tant que aquesta agrupació inclou els 5 individus que formaven el subconjunt de menor  $v_f$ <sup>42</sup>.

La tercera agrupació que es defineix en l'anàlisi de conglomerats ha estat etiquetada com PLF-A1, seguint les observacions realitzades prèviament en l'ACP, on ja es reconeixia l'existència d'aquesta agrupació, formada pels individus Pascual 1 PLF001, PLF002, PLF003, PLF005, PLF008, PLF009, PLF010. Les similituds composicionals fan que també quedi afegit a aquest grup l'individu PLF004, el qual ja mostrava unes puntuacions similars en l'ACP, per bé que no l'havíem inclòs provisionalment per situar-se en el límit dels valors positius i negatius del Comp.2. Les principals diferències respecte l'anterior grup són uns continguts relativament més baixos en MnO, MgO, K<sub>2</sub>O, Rb, Zr, Y, Ce, V, Zn, Ni i Cr.

Finalment, a la dreta del dendrograma queda definida la darrera agrupació que, com en el cas anterior, manté l'etiqueta establerta a rel de l'ACP, PLF-A2, en tant que està formada pels mateixos individus (PLF012, PLF013, PLF019, PLF021).

En definitiva, la caracterització arqueomètrica dels 32 individus procedents del centre productor del C/ de Guillem de Palafolls ha permès identificar l'existència d'un mínim de 3 pastes diferents amb les quals s'haurien fabricat les àmfores (Taula 48). Com en els casos anteriors, una de les principals característiques des del punt de vista estadístic és la important variabilitat existent dins de les agrupacions que, com hem vist, afecten a molts dels elements químics caracteritzats. En tots els casos es tracta d'una pasta poc calcària i amb continguts relativament baixos de MgO. També com en el cas anterior d'El Mujal, sembla que es constata una certa tendència a emprar diferents

---

<sup>42</sup> Veure Taula 22 (Annex 1) i discussió en l'apartat 7.3.1.2.

pastes per a la producció dels diferents dissenys amforals, per bé que, en aquest cas del C/ de Guillem de Palafolls, hi ha certament alguns individus del tipus Pascual 1 que s'haurien produït fent servir pastes de composicions molt similars a les de la majoria de Dressel 2-4. Igualment, també es demostra que la producció d'un mateix tipus no segueix la mateixa recepta de pasta. Aquest seria el cas dels individus Pascual 1, representats en aquest centre per un mínim de tres pastes diferents. La mitjana i desviació estàndard de les agrupacions definides es presenten en la Taula 49 (Annex 1).

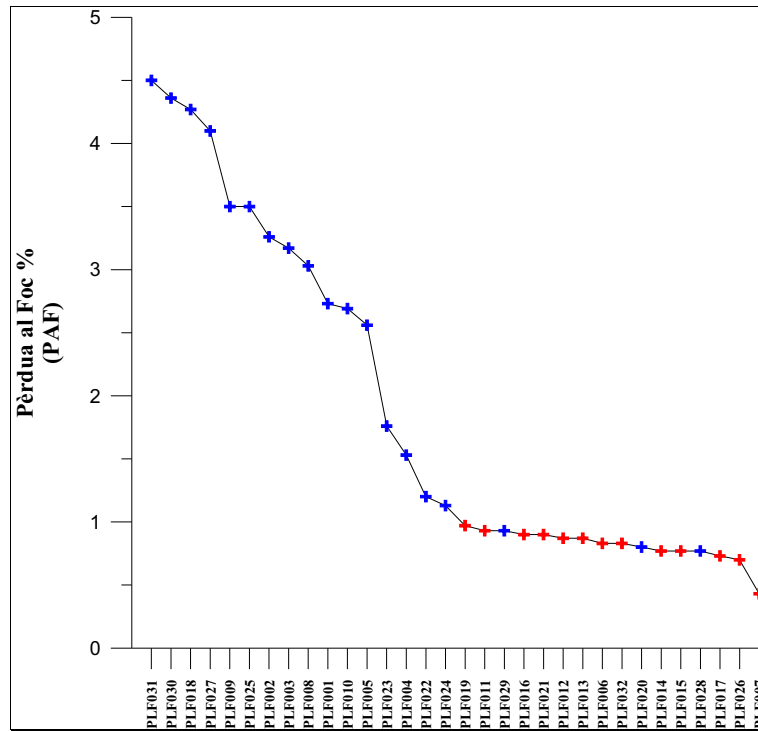
#### 8.4.2 Caracterització mineralògica

L'estudi dels difractogrames dels 32 individus del centre productor del C/ de Guillem de Palafolls revela l'existència de quatre fàbriques diferents, identificades a partir de l'associació de fases minerals que exhibeixen (Taula 50, Annex 1).

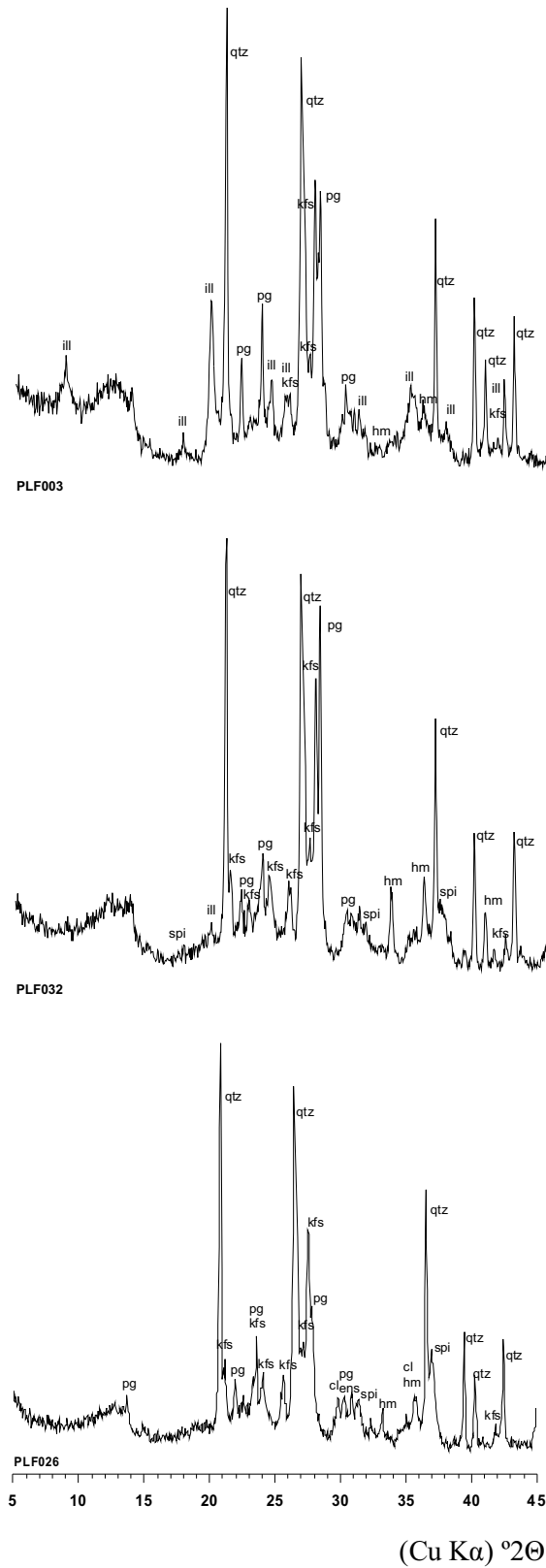
La primera fàbrica PLF-I està representada pel difractograma de l'individu PLF003 (Figura 112, superior). Formen part d'aquesta fàbrica tots els individus del grup químic PLF-A1 (PLF001, PLF002, PLF003, PLF004, PLF005, PLF008, PLF009, PLF010), part dels individus del grup químic PLF-B-1 (PLF018, PLF022, PLF023, PLF24, PLF025, PLF027, PLF028, PLF029, PLF030, PLF031), així com l'individu PLF020. Aquesta fàbrica es caracteritza per mostrar pics molt intensos de filosilicats del grup de les il·lites-moscovites i de quars. Així mateix, destaquen com a fases principals el feldspat potàssic i la plagiòclasi, així com l'hematites, la qual apareix clarament amb pics de menor intensitat. La presència dels pics encara molt desenvolupats dels filosilicats, així com l'absència completa de minerals que es puguin interpretar com a possibles fases de cocció suggereixen una TCE molt baixa, probablement inferior als 850-900°C. El fet que estariem tractant amb individus cuits a baixes temperatures també queda reflectit en l'estudi de la Pèrdua al Foc (PAF), on coincideix que els que presenten un major percentatge són els agrupats en aquesta fàbrica (Figura 112).

La segona fàbrica definida ha estat etiquetada com PLF-II. Els quatre individus que formen part d'aquesta fàbrica pertanyen al grup químic PLF-B1 (PLF006, PLF014, PLF016, PLF032); un d'ells és del tipus Pascual 1 i els tres restants corresponen al tipus

Dressel 2-4. Aquesta fàbrica, com es pot veure en el difractograma representatiu de l'individu PLF032 (Figura 112, mig), té com a fases principals quars, feldspat potàssic, plagiòclasi i hematites. Respecta la fàbrica anterior destaca la notable descomposició dels pics de filosilicats d'il·lita-moscovita —noti's la desaparició completa del pic  $10 \text{ \AA}$  ( $8.83^\circ 2\theta$ )—, així com un augment important en la intensitat dels pics de les plagiòclasi i, especialment, dels d'hematites. Igualment, tots els individus agrupats en aquesta fàbrica mostren pics de baixa intensitat d'epinel·la.



**Figura 112.** Gràfic bivariant dels individus del C/ de Guillem de Palafolls, en abscisses, ordenats per rang descendent en funció del percentatge de Pèrdua al Foc (PAF), en ordenades. Les creus de color blau representen els individus de la fàbrica PLF-I i les de color vermell els de fàbriques de major TCE.

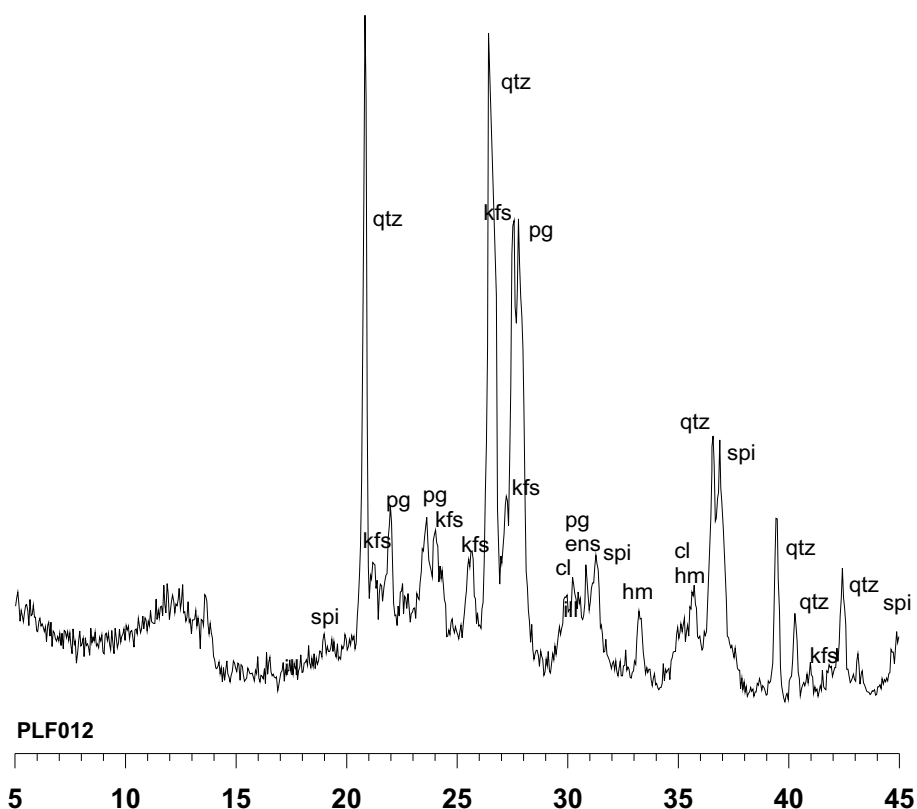


**Figura 113.** Difractogrames representatius de les fàbriques PLF-I (superior), PLF-II (mig) i PLF-III (inferior). **cl**=clinoestatita; **ens**=enstatita; **hm**=hematites, **ill**=il·lita-mocovita; **kfs**=feldspat potàssic; **pg**=plagiòclasi; **qtz**=quars; **spi**=espinel·la.

D'acord amb aquestes observacions, i assumint que la plagiòclasi i l'hematites serien fases primàries i, per tant, que l'augment d'intensitat en aquests pics respecte la fàbrica anterior es deuria a un augment en la temperatura de cocció, cosa que concordaria amb la presència incipient d'espinel·la com a fase de cocció, es pot estimar per a aquesta fàbrica PLF-II una TCE en el rang 850-950°C.

La fàbrica PLF-III agrupa part dels individus del grup químics PLF-A2 (PLF013, PLF019, PLF021) i part del grup químic PLF-B1 (PLF007, PLF011, PLF015, PLF017, PLF026). Les principals diferències que presenten els difractogrames d'aquests individus en relació a les anteriors fàbriques són la completa transformació dels fil·losilicats de les il·lites-moscovites i el clar desenvolupament de fases de cocció freqüents en ceràmiques poc calcàries com l'espinel·la, enstatita i, possiblement, clinoesnatita (Figura 113, inferior). També cal destacar la reducció d'intensitat en els pics de les plagiòclasi en pràcticament tots els individus. Així doncs, el major desenvolupament dels pics representatius de l'espinel·la i l'enstatita com a probables fases de cocció i la desaparició completa dels pics d'il·lites suggereix una TCE superior a la proposada per a la fàbrica anterior i que, en aquest cas, se situaria molt probablement entre 900/950-1000°C.

Finalment, la darrera fàbrica identificada representa solament a un individu del grup químic PLF-A2 (PLF012). El difractograma d'aquest individu (Figura 114) reflecteix la completa transformació dels fil·losilicats del grup de les il·lites-moscovites. En aquest cas, a més, els pics que representen les fases de cocció estan notablement més desenvolupats que en la fàbrica anterior, cosa que, junt a la reducció en la intensitat en els pics de quars, fan plausible una TCE lleugerament superior i que se situaria, molt probablement, al voltant dels 1000-1050°C.



**Figura 114.** Diffractograma representatiu de la fàbrica PLF-IV. **cl**=clinoesnatita; **ens**=enstatita; **hm**=hematites, **ill**=il·lita-moscovita; **kfs**=feldspat potàssic; **pg**=plagiòclasi; **qtz**=quars; **spi**=espinel·la

### 8.4.3 Conclusions

La caracterització arqueomètrica del centre productor del C/ de Guillem de Palafolls ha resultat en l'establiment de tres grups de referència. El primer està format per 8 individus corresponents exclusivament al tipus Pascual 1 (PLF001-PLF005, PLF008-PLF010), mentre que el segon, format també de manera íntegra per Pascual 1 està format per 4 individus (PLF012, PLF013, PLF019, PLF021). La tercera pasta hauria estat emprada en la confecció de totes les àmfores del tipus Dressel 2-4 caracteritzades (PLF014-PLF017, PLF022-PLF032). A més, es constata una composició molt similar en 4 individus Pascual 1 (PLF006, PLF007, PLF011, PLF018), el que demostra que s'haurien fabrica ambdós tipus amforals amb una pasta de característiques molt similars. Així mateix, l'individu PLF020 mostra diferències composicionals que no permeten incloure'l clarament en cap de les agrupacions definides.



En estudis anteriors sobre els materials amforals d'aquest jaciment (Burjachs *et al.* 1989) s'havien definit dues possibles variants del tipus Dressel 2-4, en funció de la variació morfomètrica observada en el coll, espatlla i vora d'aquestes àmfores. Aquests autors defineixen una variant més gran —d'aproximadament 17-20 cm de diàmetre de vora i coll de forma troncocònica—, i una variant més petita —d'aproximadament 15 cm de diàmetre de vora i coll cilíndric—, les quals apareixen associades en tots els nivells de l'abocador al tipus Pascual 1. A partir de la caracterització arqueomètrica no s'observa, en canvi, cap diferència composicional significativa entre aquestes variants. Els individus caracteritzats que es poden associar a la variant més petita (PLF015 i PLF017) queden clarament integrats en una mateixa agrupació amb la resta de Dressel 2-4 que representarien la variant de majors dimensions.

En quant a les implicacions tecnològiques d'aquesta caracterització cal dir que, com en els casos anteriors de Can Notxa i El Mujal, no sembla que el canvi en l'ús de les pastes es pugui relacionar amb cap criteri de tipus tècnic que hagués afectat les propietats de les àmfores. En aquest sentit, es constata que tots els individus caracteritzats varen ésser produïts a partir de pastes poc calcàries, la majoria cuites a unes temperatures inferiors probablement als 850-900°C. Concretament, un 59.6% dels individus mostren unes TCE inferiors a aquest rang, mentre que el 40.7% restant oscil·len entre 850-950°C i 1000-1050°C. Aquests resultats indiquen l'ús d'un procediment tecnològic clarament diferenciat del documentat en la producció d'aquests mateixos tipus en altres províncies romanes (Schmitt 1998; Thierrin-Michael i Picon 1994).

### **8.5 Fenals (Lloret de Mar)**

Fenals és, molt probablement, el jaciment sobre el qual s'ha realitzat una excavació arqueològica de major extensió de tots els centres productors considerats en aquest treball. Les restes arqueològiques suggereixen que es tractaria d'un complex de grans dimensions format per diverses instal·lacions dedicades a la producció d'àmfores i d'altres tipus ceràmics. L'activitat productiva s'inicia entre els anys 20-15 aC amb la fabricació d'àmfores Pascual 1. En els anys al voltant el canvi d'Era, aquesta producció comença a ésser aparentment substituïda per la del tipus Dressel 2-4, fins el final de

l'activitat del centre, entre els anys 80-85 dC.

Aquest centre productor ha estat caracteritzat a partir de les anàlisis de 51 individus, dels quals 35 són Pascual 1 (FEN001-FEN035) i 16 corresponen al tipus Dressel 2-4 (FEN036-FEN051).

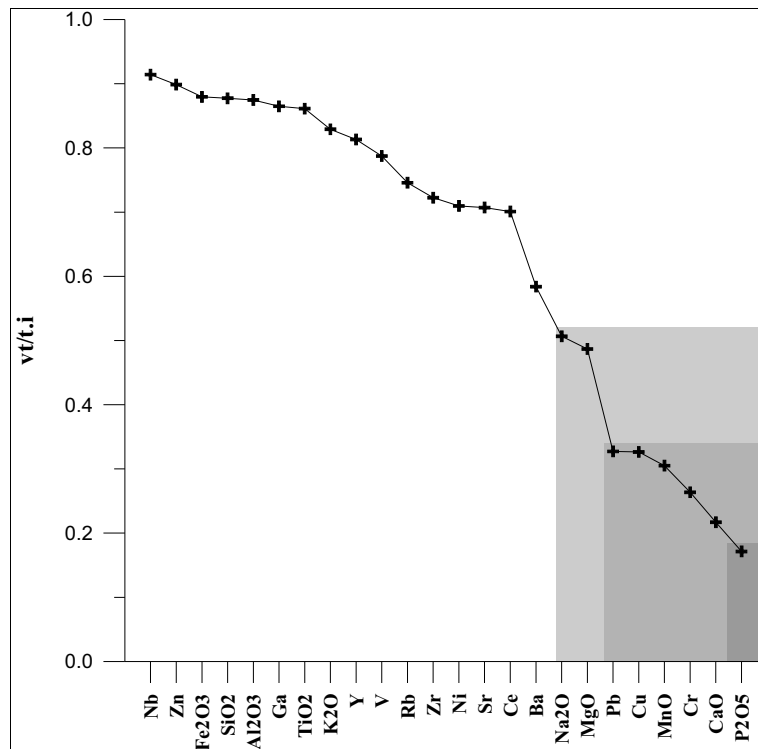
### 8.5.1 Caracterització química

El primer pas per a estimar la variabilitat química existent en el conjunt dels 51 individus de Fenals ha estat el càlcul de la matriu de variació composicional (MVC) sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (com a Fe total),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , MnO,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$ , MgO, CaO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Cu, Ni i Cr (Taula 51, Annex 1). El resultat obtingut ( $vt=0.64964$ ) se situa clarament en la part dels valors alts obtinguts en l'experiment de remostreig aleatori II. Aquest fet ja proporciona informació rellevant sobre la composició d'aquests individus. L'experiment de remostreig aleatori II s'ha realitzat a partir del càlcul de diverses MVC sobre la subcomposició suara esmentada a excepció dels components  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Pb i Cu<sup>43</sup>. El resultat obtingut sobre els mateixos 51 individus donava una variació total significativament inferior a l'obtinguda ara ( $vt=0.39385$ ); poc menys de la meitat. Per tant, es pot deduir que bona part de la variabilitat existent és deguda a aquests elements que, com ja hem vist, acostumen a estar involucrats en processos de contaminació.

Certament, l'estudi de la MVC permet identificar que una bona part de la variació total està lligada a aquests tres components. En la Taula 51 (Annex 1) es pot veure com la variació total està fortament lligada al vector columna  $\tau_{\text{Pb}}$  per al qual la variació total de l'estructura de covariància representa el 17.15% del seu valor ( $\tau_{\text{P}_2\text{O}_5}=3.78816$ ;  $vt/\tau_{\text{P}_2\text{O}_5}=0.17149$ ). La variabilitat aportada per aquest i per la resta dels elements apareix il·lustrada en la Figura 115. Com es pot veure, els altres elements que més contribueixen a l'alta variabilitat exhibida pel conjunt de Fenals són el CaO ( $\tau_{\text{CaO}}=2.99486$ ;  $vt/\tau_{\text{CaO}}=0.21692$ ), Cr ( $\tau_{\text{Cr}}=2.46532$ ;  $vt/\tau_{\text{Cr}}=0.26351$ ), MnO ( $\tau_{\text{MnO}}=2.12920$ ;  $vt/\tau_{\text{MnO}}=0.30511$ ), Cu ( $\tau_{\text{Cu}}=1.99046$ ;  $vt/\tau_{\text{Cu}}=0.32637$ ) i Pb ( $\tau_{\text{Pb}}=1.98555$ ;  $vt/\tau_{\text{MnO}}=0.32718$ ). També és de remarcar la variabilitat lligada al MgO

<sup>43</sup> Veure apartat 7.3.1.2.

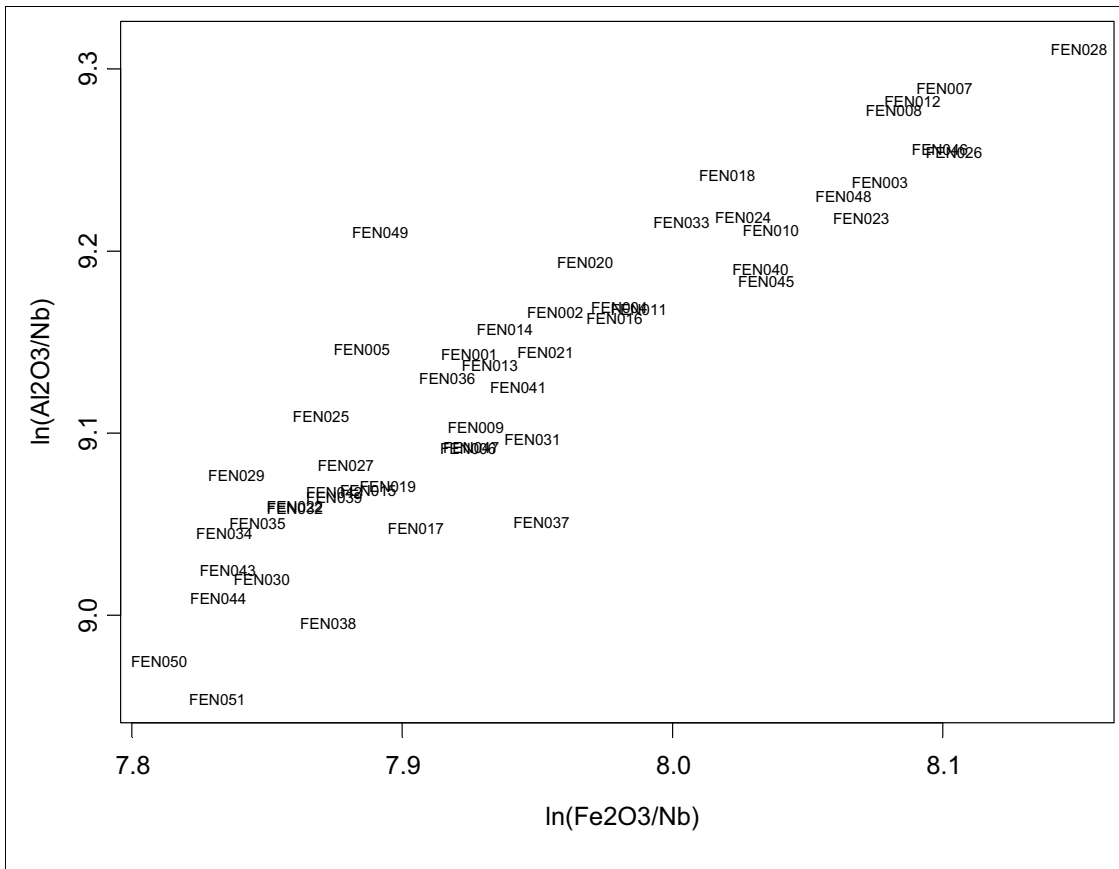
( $\tau_{\text{MgO}}=1.33467$ ;  $vt/\tau_{\text{MgO}}=0.0.48674$ ). El Nb, en canvi, se situa en l'extrem oposat entre els elements que introdueixen menys variabilitat al conjunt de les dades. Per tant, aquest element és el que amb més probabilitat representa només una variació natural i, el que és més important, el que menys probabilitat té d'estar afectat per possibles processos d'alteració i/o contaminació, cosa que el situa com un dels millors candidats per a ésser emprat com a divisor en la transformació de les dades en logaritmes de raons.



**Figura 115.** Gràfic bivariant dels elements químics retinguts per a l'anàlisi ordenats per rang descendent (en abscesses) en funció dels valors  $vt/\tau_i$  (en ordenades).

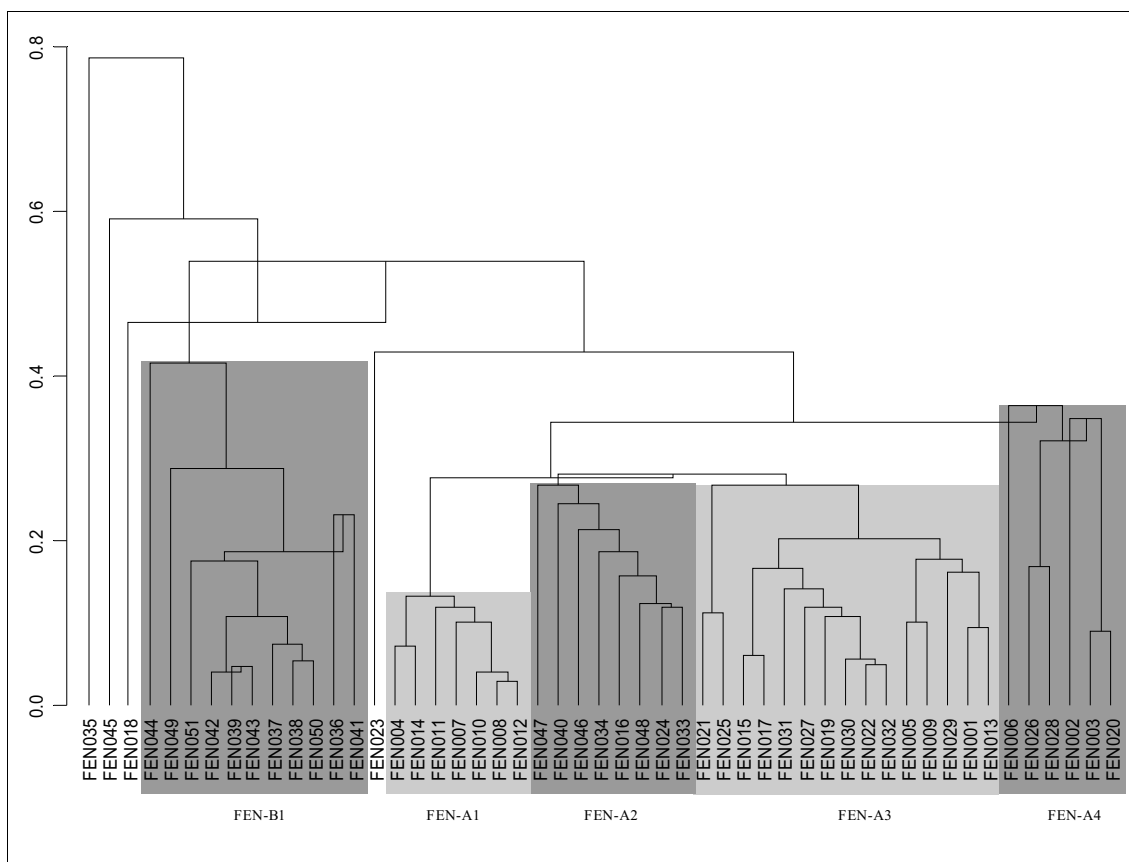
Un cop s'ha comprovat que la variabilitat dels components  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Pb}$  i  $\text{Cu}$  ve proporcionada fonamentalment per unes concentracions relatives anormalment altes en certs individus i possiblement relacionades amb processos de contaminació, s'ha efectuat el càlcul d'una nova MVC sense considerar aquests

elements (Taula 52, Annex 1). El resultat mostra clarament una reducció considerable de la variació total ( $vt=0.30149$ ), la qual està ara lligada als components CaO ( $\tau_{\text{CaO}}=1.97683$ ;  $vt/\tau_{\text{CaO}}=0.15251$ ), Cr ( $\tau_{\text{Cr}}=1.68516$ ;  $vt/\tau_{\text{Cr}}=0.17891$ ), Na<sub>2</sub>O ( $\tau_{\text{Na2O}}=0.72645$ ;  $vt/\tau_{\text{Na2O}}=0.41502$ ) i, en menor mesura, Ba ( $\tau_{\text{Ba}}=0.64946$ ;  $vt/\tau_{\text{Ba}}=0.46422$ ). L'examen dels valors de les dues MVC calculades permet constatar, a més, que el valor més baix correspon a la variació relativa dels components Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ( $\tau_{\text{Fe2O3, Al2O3}}=0.00132$ ), el que suggereix que els individus amb majors concentracions de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> també exhibiran majors concentracions d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Aquesta correlació podria estar indicant que els continguts en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> d'aquestes àmfores estarien associats a la fase argilosa de la pasta emprada en la seva fabricació i, a més, tenint en compte que la varibilitat introduïda per aquests elements és relativament baixa, es podria assumir que aquests components —junt al SiO<sub>2</sub>, associat fonamentalment a les inclusions no-plàstiques— s'haurien mantingut relativament constants en la fabricació d'aquests envasos (Figura 116).



**Figura 116.** Gràfic bivariant dels valors  $\ln(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Nb})$ , en absccisses, i  $\ln(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Nb})$ , en ordedandes, dels 51 individus procedents del centre productor de Fenals

Amb l'objectiu d'identificar l'estructura existent en les dades químiques hem realitzat una anàlisi de conglomerats sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, emprant el Nb com a divisor en la transformació de les concentracions d'aquests elements en logaritmes de raons. Aquesta anàlisi s'ha realitzat mitjançant el paquet informàtic S-Plus 2000 (Mathsoft 1999), emprant la distància Euclidiana al quadrat i com a algoritme aglomeratiu el centroïde. Les dades resultants queden resumides en el dendrograma de la Figura 117.



**Figura 117.** Dendrograma resultant de l'anàlisi de conglomerats dels 60 Ic d'El Mujal, emprant la distància euclidiana al quadrat i l'algorisme aglomeratiu del centroid sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, emprant el Nb com a divisor.

L'anàlisi de conglomerats suggereix l'existència de cinc agrupacions diferenciades, així com quatre individus que no queden adscrits clarament a cap de les agrupacions. Començant des de l'esquerra del dendrograma s'identifica un primer grup que ha estat etiquetat com a FEN-B1. Aquesta agrupació està formada per la majoria de les àmfores Dressel 2-4 mostrejades en aquest centre (FEN036, FEN037, FEN038, FEN039, FEN041, FEN042, FEN043, FEN044, FEN049, FEN050, FEN051). Les principals diferències composicionals respecte la resta d'agrupacions s'expliquen per uns continguts relativament més alts en Cr, però més baixos en CaO,  $\text{Na}_2\text{O}$ , Ba, Sr, i Ni. Pel que fa al contingut en CaO, cal remarcar que tots els individus caracteritzats s'han de considerar ceràmiques produïdes a partir de pastes poc calcàries. En aquest cas

concret, la concentració mitjana se situa en  $1.59 \pm 0.45$  % (en dades normalitzades), variant entre un valor mínim de 0.77% i un valor màxim de 2.57%. No obstant això, sí que s'observa que les Dressel 2-4 d'aquesta agrupació són els individus amb els continguts en CaO més baixos de tots els caracteritzats. Dins d'aquesta agrupació s'observa també que hi ha dos individus que se fusionen amb la resta a una distància ultramètrica major (FEN044 i FEN049). Les diferències que provoquen aquesta distància són uns valors relatius lleugerament superiors de Na<sub>2</sub>O en el primer individu, i de Ba en el segon.

La segona agrupació definida, FEN-A1, està formada també de manera exclusiva per individus del tipus Pascual 1 (FEN004, FEN007, FEN008, FEN010, FEN011, FEN012, FEN014). Aquests individus es caracteritzen per uns valors relatius més alts en CaO i Rb, però més baixos en Cr.

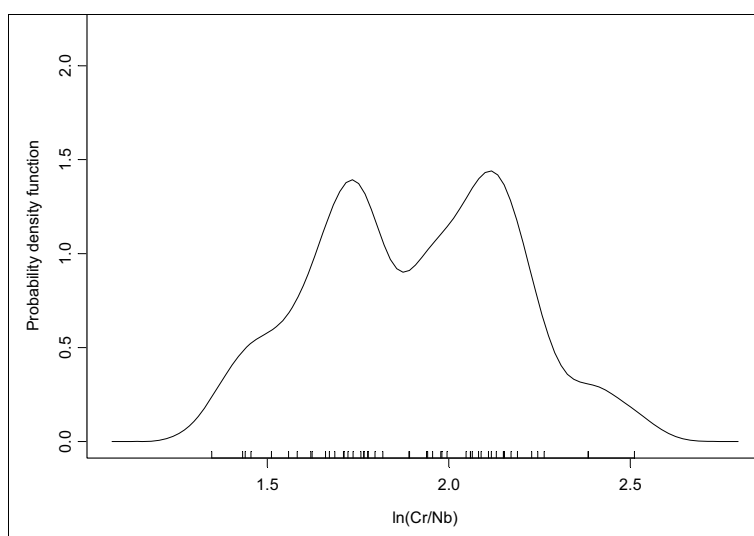
Més a la dreta es forma l'agrupació FEN-A2, la qual és la més variada des del punt de vista dels dissenys amforals que hi són representats. En aquesta agrupació queden recollits quatre individus del tipus Pascual 1 (FEN016, FEN024, FEN033, FEN034) i quatre més del tipus Dressel 2-4 (FEN040, FEN046, FEN047, FEN048). En general, tots aquests individus tenen uns continguts relatius més alts de CaO, però també de Cr. A més, de manera més concreta es constata que les àmfores del tipus Dressel 2-4 es diferencien de les de l'agrupació FEN-B1 per uns continguts relatius superiors en Na<sub>2</sub>O, CaO, Ni i, en menor mesura, Ga.

A continuació apareix definit el grup FEN-A3 el qual agrupa la major part de les Pascual 1 d'aquest centre (FEN001, FEN005, FEN009, FEN013, FEN015, FEN017, FEN019, FEN021, FEN022, FEN025, FEN027, FEN029, FEN030, FEN031, FEN032). Com es pot veure, la distància ultramètrica a la que es realitza la fusió d'aquesta agrupació amb l'anterior és relativament petita, cosa que indica que les diferències composicionals entre aquests dos grups no són molt marcades. Tanmateix, sí que poden dir que part dels individus del grup FEN-A3 presenta uns continguts relatius lleugerament inferiors en Cr i Ni respecte l'agrupació FEN-A2.

Finalment, el darrer grup químic que queda identificat, FEN-A4, també està format íntegrament per individus Pascual 1 (FEN002, FEN003, FEN006, , FEN020, FEN026, FEN028). Dins d'aquest grup químic, malgrat l'alta variabilitat que s'observa

en tots els components, es pot intuir una certa tendència a mostrar uns valors relatius, en general, més alts en Sr i Ba, alhora que més baixos en Cr i Rb.

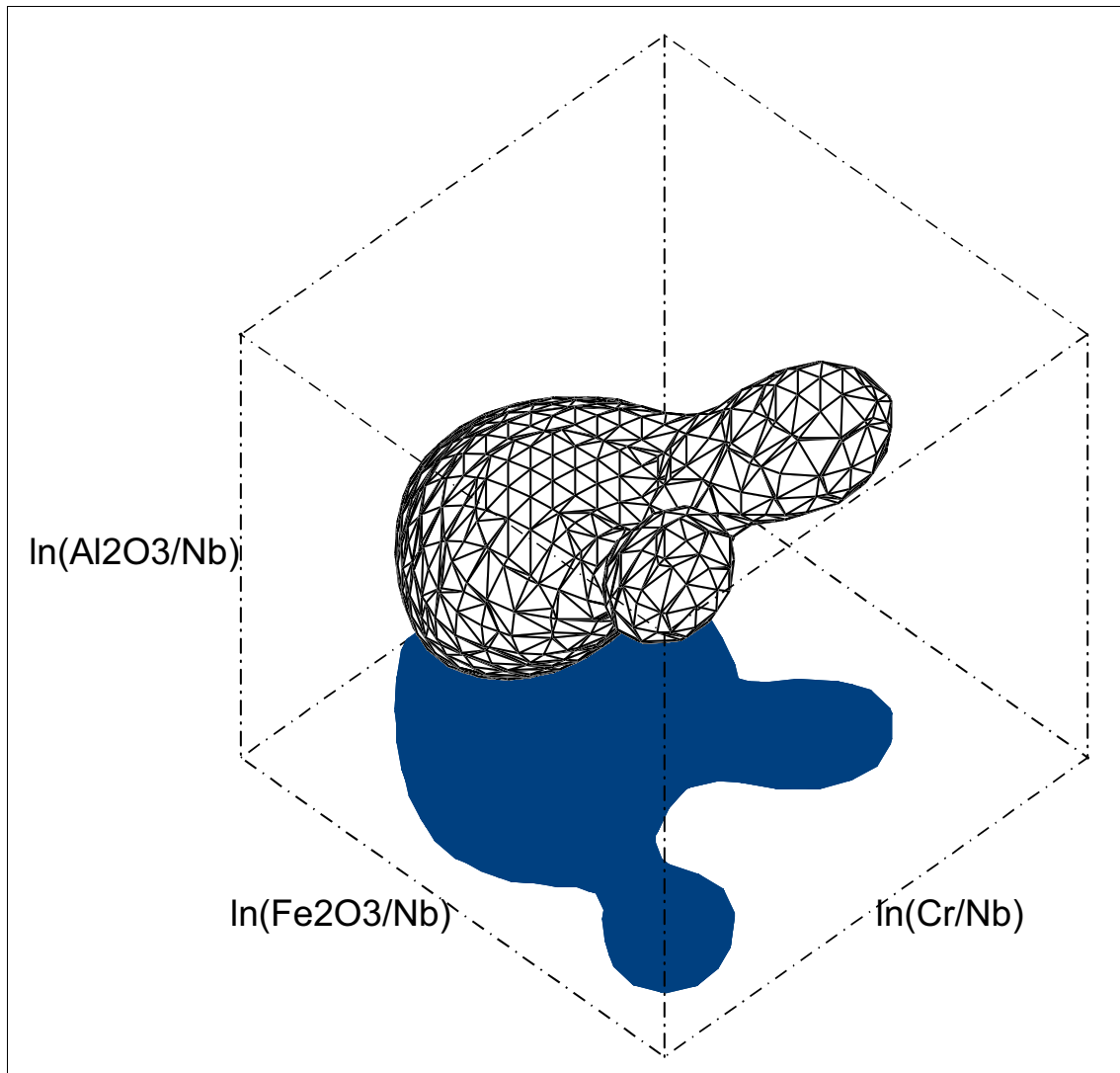
Així doncs, d'una banda queden agrupades la majoria de Dressel 2-4 que es caracteritzen fonamentalment per uns continguts més alts en Cr i més baixos en  $\text{Na}_2\text{O}$ , CaO, Ba, Sr i Ni, mentre que d'altra banda queden agrupades la pràctica totalitat de les Pascual 1, formant quatre grups químics amb lleugeres diferències composicionals entre sí. Mentre que tots presenten uns continguts relatius més alts en CaO i més baixos en Cr que l'agrupació FEN-B1, el grup FEN-A2 es caracteritza per unes concentracions en Cr molt similars, cosa que explica que s'agrupin conjuntament individus Pascual 1 i Dressel 2-4. Aquesta bimodalitat que s'observa fonamentalment en els continguts en Cr de les àmfores queda també il·lustrada amb l'estimació de la funció de densitat de probabilitat dels valors transformats de Cr (Figura 118). En aquesta gràfica la moda al voltant dels valors més alts es correspon a la totalitat dels individus Dressel 2-4 i als Pascual 1 del grup FEN-A2, mentre que la resta s'agrupen al voltant de la moda de valors més baixos.



**Figura 118.** Gràfic bivariant d'estimació de la funció de densitat de probabilitat mitjançant el mètode *kernel* dels valors  $\ln(\text{NaO}_2/\text{Nb})$  (superior),  $\ln(\text{Zr}/\text{Nb})$  (mig) i  $\ln(\text{Ni}/\text{Nb})$  (inferior) dels individus de Fenals.



Com ja hem discutit, els continguts en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i  $\text{Al}_2\text{O}_3$  d'aquest conjunt d'àmfors mostren una forta correlació directa, alhora que són uns dels elements que menys variabilitat aporten a tot el conjunt de dades composicionals, cosa que suggereix que es mantenen relativament constants en totes les pastes definides. Així doncs, és d'esperar que aquesta mateixa tendència en quant als continguts en Cr de les àmfors de Fenals quedi també ben palesa en cas d'estimar la funció de densitat de probabilitat a partir d'aquestes tres variables ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i Cr). Certament, el gràfic resultant d'aquesta estimació deixa patent l'existència d'aquesta estructura (Figura 119). Com es pot observar, el gruix de les mostres caracteritzades segueix una tendència clara de correlació directa entre els continguts d' $\text{Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , alhora que s'estableix una divisió entre dos conjunts en funció de les concentracions més altes (a la dreta de l'eix z) i més baixes (a l'esquerra de l'eix z) en Cr.



**Figura 119.** Gràfic tridimensional d'estimació de la funció de densitat de probabilitat mitjançant el mètode *kernel* dels valors  $\ln(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Nb})$ ,  $\ln(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Nb})$  i  $\ln(\text{Cr}/\text{Nb})$  dels individus de Fenals.

El resum dels grups químics definits apareix en la Taula 53 (Annex 1). La mitjana aritmètica i la corresponent desviació estàndard de les concentracions elementals de cada grup apareix en la Taula 54 (Annex 1).

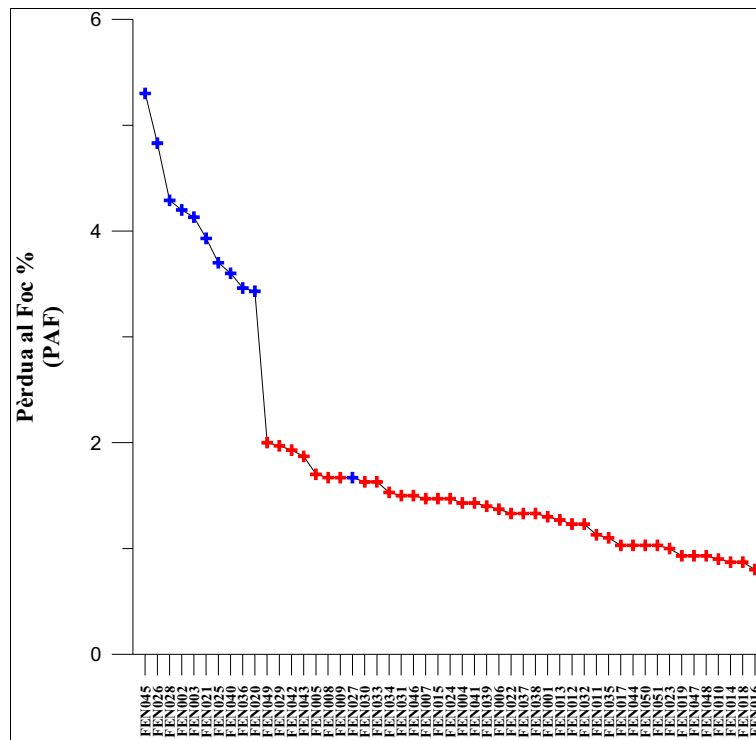
### 8.5.2 Caracterització mineralògica

L'estudi dels difractogrames permet agrupar els individus de Fenals en cinc

fàbriques diferents en funció de l'associació de fases minerals que suggereixen un increment en la Temperatura de Cocció Equivalent (TCE), des de la fàbrica FEN-I fins a la FEN-V (Taula 55, Annex 1).

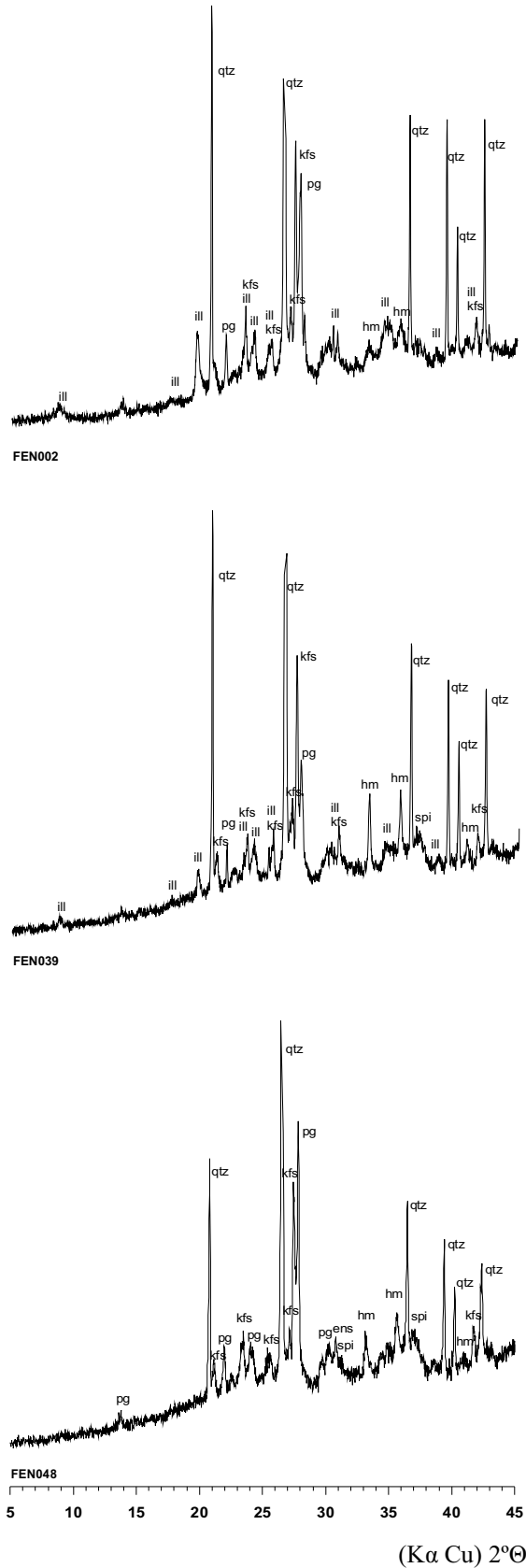
La primera fàbrica identificada, FEN-I, agrupa un total d'11 individus (FEN002, FEN003, FEN0020, FEN021, FEN025, FEN026, FEN027, FEN028, FEN036, FEN040, FEN045). El difractograma representatiu d'aquesta fàbrica es presenta en la Figura 121 (superior). Aquest difractograma permet il·lustrar com les fases principals d'aquesta fàbrica són quars, fil·losilicats del grup de les il·lita-moscovita, feldspat potàssic, plagiòclasi i hematites. D'aquestes fases destaquen els pics intensos d'il·lita-moscovita i quars. També cal destacar l'absència de pics representatius de fases de cocció, així com el fet que la pràctica totalitat dels individus que presenten aquesta associació de fases cristal·lines són els que han resultat amb un major percentatge de Pèrdua al Foc (PAF) (Figura 120). A partir de totes aquestes observacions se suggereix que els individus de la fàbrica FEN-I haurien assolit baixes temperatures de cocció, probablement per sota de rang 850-900°C.

La fàbrica FEN-II representa un total de 7 individus (FEN001, FEN009, FEN029, FEN039, FEN042, FEN043, FEN049). Els difractogrames d'aquests individus, representats pel difractograma de l'individu FEN039 (Figura 121, mig), mostren una clara transformació en els pics dels fil·losilicats de les il·lites-moscovites respecte la fàbrica anterior. Així mateix, destaca l'augment d'intensitat en els pics d'hematites. La presència d'aquests pics més desenvolupats d'hematites pot deure's bé a la seva existència ja com a fase primària abans de la cocció, bé ésser el resultat d'una cristal·lització durant aquesta afavorida pel caràcter poc calcari de la pasta. En qualsevol cas, la seva presència justificaria la coloració lleugerament més vermellosa d'aquests individus, discernible a partir d'una simple observació macroscòpica a ull nu. A més a més, els difractogrames de tots aquests individus mostren l'aparició de pics d'epinel·la com a possible fase de cocció. Tots els indicis suara esmentats fan plausible la idea que la TCE d'aquesta fàbrica sigui superior a l'estimada per a la fàbrica anterior i que se situï amb molta probabilitat al voltant del rang 850-950°C.



**Figura 120.** Gràfic bivariant dels individus de Fenals, en absccises, ordenats per rang descendent en funció del percentatge de Pèrdua al Foc (PAF), en ordenades. Les creus de color blau representen els individus de la fàbrica FEN-I i les de color vermell els de fàbriques de major TCE.

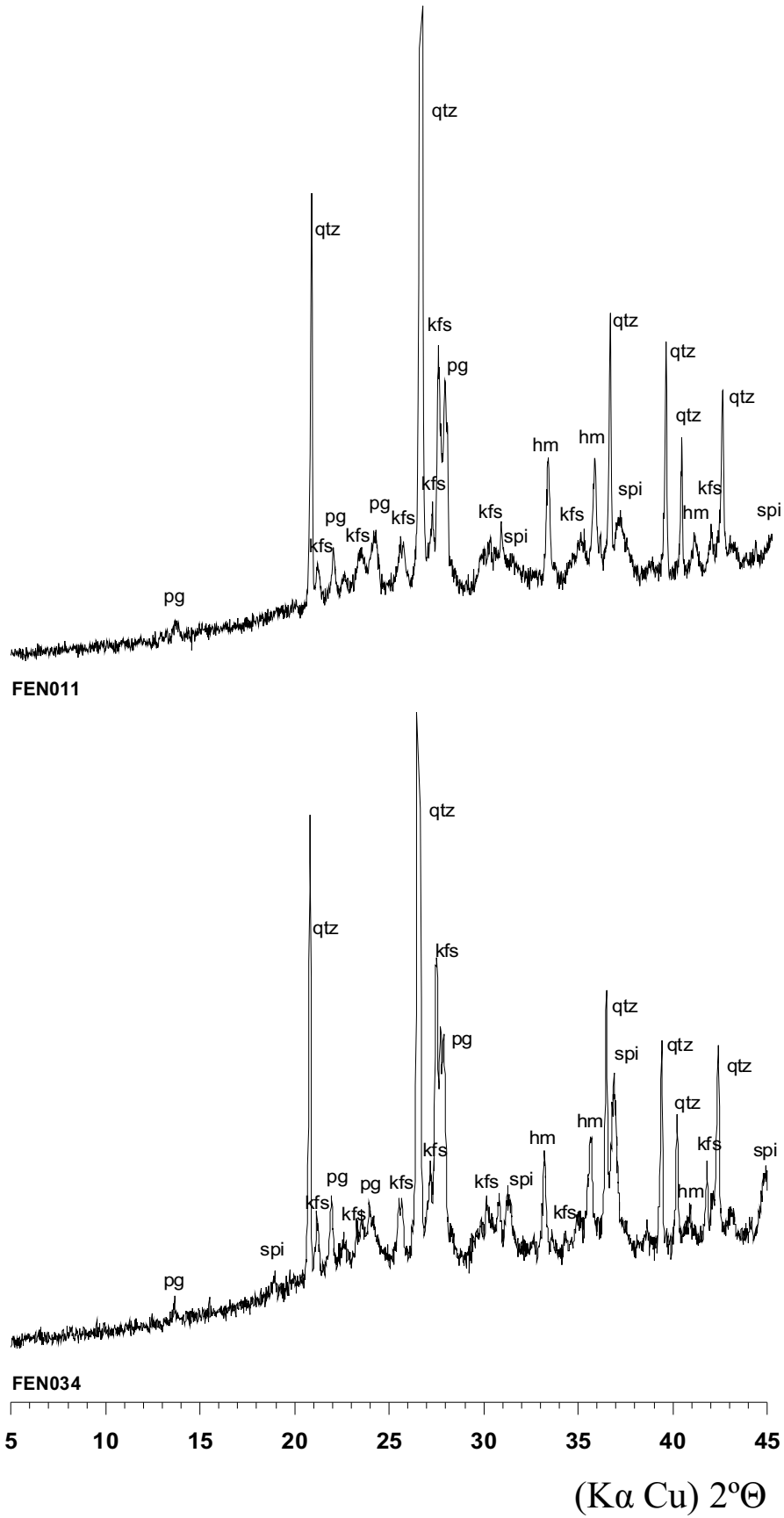
La tercera fàbrica identificada, que ha estat etiquetada com a FEN-III, agrupa un total de 6 individus (FEN005, FEN010, FEN013, FEN015, FEN035, FEN048). L'associació de fases cristal·lines que la caracteritza estan representades en el difractograma de l'individu FEN048 (Figura 121, inferior). Com es pot observar, els pics de filosilicats han desaparegut per complet —a excepció feta de l'individu FEN015 en el difractograma del qual encara s'hi poden observar restes d'un pic, però de molt baixa intensitat. En tots els individus les fases principals que s'identifiquen corresponen a quars, feldspat potàssic, plagiòclasi, hematites, espinel·la i clinoesstatita.



**Figura 121.** Diffractogrames representatius de les fàbriques FEN-I (superior), FEN-II (mig) i FEN-III (inferior). **ens**=enstatita; **hm**=hematites, **ill**=il·lita-mocovita; **kfs**=feldspat potàssic; **pg**=plagiòclasi; **qtz**=quars; **spi**=espinel·la.

En general, els pics de les plagiòclasi mostren una major intensitat respecte els difractogrames de la fàbrica anterior, com així també els d'espinel·la. Aquest fet, junt al desenvolupament d'altres possibles fases de cocció típiques de ceràmiques poc calcàries, com serien l'enstatita i clinoenstatita, i la pràctica desaparició de les il·lites suggereixen per a aquesta fàbrica una TCE al voltant dels 900/950-1000°C. La següent fàbrica identificada, FEN-IV, està representada pel difractograma de l'individu FEN011 (Figura 122, superior). En aquesta fàbrica hi queden agrupats un total de 15 individus (FEN004, FEN006, FEN007, FEN008, FEN011, FEN012, FEN018, FEN022, FEN024, FEN030, FEN038, FEN041, FEN046, FEN047, FEN051). Les fases principals són quars, feldspat potàssic, plagiòclasi, hematites, espinel·la i, en alguns casos (FEN038, FEN051), enstatita. Aquesta fàbrica mostra, respecte l'anterior, un desenvolupament lleugerament superior dels pics d'espinel·la i d'hematites, mentre que la resta de les fases es mantindrien aproximadament igual. Per tot això, la TCE estimada per a aquesta fàbrica també se situaria entre els 900/950-1000°C, per bé que tal vegada en la part superior d'aquest rang.

Finalment, la fàbrica FEN-V agrupa un total de 12 individus (FEN014, FEN016, FEN017, FEN019, FEN023, FEN031, FEN032, FEN033, FEN034, FEN037, FEN044, FEN050). Els difractogrames d'aquests individus indiquen, com en el cas anterior, que els fil·losilicats del grup de les il·lites han patit una completa transformació a causa d'unes altes temperatures de cocció (Figura 122, inferior). Aquest fet també vindria corroborat pel major desenvolupament que s'observa en els pics d'espinel·la, hematites i, en alguns individus, de clinoenstatita, així com per la lleugera reducció en els pics de quars que caracteritza els difractogrames d'alguns individus (FEN017, FEN023, FEN031, FEN032). Així doncs, l'absència de pics de fil·losilicats suggereix que la temperatura de cocció d'aquestes àmfores hauria superat molt probablement els 950-1000°C, mentre que el fort desenvolupament de les fases de cocció, especialment el cas de l'espinel·la, i la lleugera reducció en la intensitat dels pics de quars, permeten proposar per a la fàbrica FEN-V una TCE al voltant dels 1000-1050°C, o lleugerament superior en alguns casos.



**Figura 122.** Diffractogrames representatius de les fàbriques FEN-IV (superior), FEN-V (inferior). **hm**=hematites, **kfs**=feldspat potàssic; **pg**=plagiòclasi; **qtz**=quars; **spi**=espinel·la.

### 8.5.3 Conclusions

El conjunt d'àmfores del centre productor de Fenals mostra una variabilitat química considerable, coincidint amb els resultats obtinguts en la resta de centres caracteritzats fins el moment. En aquest cas en concret, les fonts de variabilitat identificades responen a diferents processos. D'una banda, existeix una part important de la variabilitat de tot el conjunt de dades composicionals que és deguda a processos de contaminació que, amb molta probabilitat, s'haurien produït durant el període d'enterrament de les ceràmiques. Aquests processos haurien afectat principalment als elements  $P_2O_5$ , Pb, Cu, MnO,  $Na_2O$  i Ba, els quals es caracteritzen per una gran mobilitat geoquímica. En aquest mateix sentit, caldria considerar la possibilitat que algunes de les concentracions més altes en CaO també fossin el resultat d'un procés de contaminació. La comprovació d'aquesta possibilitat hauria d'implicar l'ús d'altres mètodes d'anàlisi (Cau *et al.* 2002). En qualsevol cas, la possible contaminació puntual d'òxid de calci en algunes ceràmiques no comporta de cap manera un problema significatiu i no afecta a la interpretació de les dades en quant a la definició dels grups químics.

D'altra banda, s'identifiquen també diferències composicionals que indicarien un canvi probablement en l'argila base emprada en la preparació de les pastes. És interessant observar com, un cop més, aquestes diferències van en paral·lel, de manera més o menys precisa, amb el canvi en el disseny formal de les àmfores. Els principals elements implicats en aquest procés són el CaO, Ni, Sr, Rb i, fonamentalment, el Cr. En aquest sentit és interessant remarcar que és precisament el Cr un dels principals responsables en funció del qual es poden discriminar químicament els tallers que configuren el gran grup A de ceràmiques poc calcàries<sup>44</sup>. Les concentracions relatives de Cr, junt a les de  $Fe_2O_3$ , permeten diferenciar d'una banda les produccions de Can Notxa i El Mujal, amb uns continguts mitjans menors en Cr però majors en  $Fe_2O_3$ , de les produccions del C/ de Guillem de Palafolls i de Fenals, amb unes concentracions mitjanes superiors en Cr però més baixes en  $Fe_2O_3$ .

Junt a aquestes, s'afegeix una causa explicativa de la variabilitat química que també té origen en el procés de producció de les àmfores. Com també es desprèn de

---

<sup>44</sup> Veure apartat 7.2.



casos anteriors, la relativa poca homogeneïtat en les concentracions elementals seria el reflex d'un procés poc estandarditzat de preparació i manteniment de les pastes al llarg del temps. En el cas de les àmfores de Fenals es constata una important variabilitat dins dels mateixos grups químics definits com a produccions locals, alhora que les diferències entre ells no semblen poder relacionar-se amb aspectes purament tècnics; tots els grups definits es caracteritzen per correpondre a pastes poc calcàries ( $1.58 \pm 0.44\%$ , en dades normalitzades), amb uns continguts en MgO i Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> també relativament baixos ( $1.1 \pm 0.19\%$  i  $5.7 \pm 0.31$ , en dades normalitzades respectivament). Així doncs, les diferències entre els grups podrien reflectir bé un canvi en l'àrea d'extracció de les argiles, bé un canvi geoquímic dins de la mateixa argilera. Sigui el que sigui, el que sí sembla clar és que la recepta (o millor dit, les receptes) de pasta emprades en la confecció de les àmfores no es mantenen tan estables com en altres produccions ceràmiques sincròniques (Madrid 2005). Aquests canvis donen com a resultat l'existència de 5 grups químics diferents, dels quals els dos que agrupen un major nombre d'individus estan formats en exclusiva bé per Pascual 1 (FEN-A3), bé per Dressel 2-4 (FEN-B1). Els altres dos, formats per un nombre menor d'individus, agrupen, en un cas, només Pascual 1 (FEN-A1) i, en l'altre, la mateixa proporció de Pascual 1 i Dressel 2-4 (FEN-A2). Junt a aquests grups resten un total de 4 individus sense classificar (FEN018, FEN023, FEN035, FEN045), el que representa un 7.8% de tota la mostra.

Finalment, les TCE estimades mostren també una important variació, cosa que és habitual en cas de caracteritzar individus recuperats majoritàriament d'abocadors de centres productors. Tanmateix és en aquest aspecte on els individus de Fenals mostren també diferències respecte dels altres centres discutits fins el moment. Mentre que la majoria de les àmfores dels centres d'El Mujal i del C/ de Guillem de Palafolls se situen clarament entre 850-950°C i per sota d'aquest rang (el cas de Can Notxa no és considerat a causa del nombre limitat de mostres que el representen), les àmfores de Fenals presenten majoritàriament unes TCE per sobre d'aquest rang (concretament un 64.7% dels individus analitzats). El fet que aquesta conducta fos el resultat d'una cerca premeditada de majors resistències a la fractura per als envasos no pot ésser confirmat pels resultats obtinguts en l'estudi de la resistència a la fractura Hertziàna. No obstant,

el que crida l'atenció és que els individus de Fenals sobre els que s'han realitzat tests de resistència a la fractura han proporcionat, amb diferència, els resultats més baixos de tots els centres productors. Si assumim que les condicions dels espècimens (FEN026 i FEN028) eren les correctes, podem proposar una sèrie de conclusions especulatives al respecte. Tenint en compte que aquests individus pertanyen a fàbriques de baixes TCE (FEN-I), seria d'esperar que la resistència a la fractura fos menor que les fàbriques de TCE superiors. Per tant, si aquestes propietats fossin representatives del material ceràmic original, es podria pensar que les pastes emprades a Fenals, per un motiu que per arar se'ns escapa, donarien problemes —des del punt de vista mecànic— en ser cuites a baixes temperatures. Això podria explicar la tendència aparent per assolir altes TCE, a diferència del que s'ha constatat en els altres centres que produïren àmfores a partir de pastes poc calcàries. L'abast o l'èxit d'aquesta tendència és, en qualsevol cas, difícil d'interpretar a partir del baix nombre d'individus testats en resistència a la fractura.

Una altra possibilitat és que les propietats mecàniques dels individus testats no fossin representatives del material ceràmic original. Considerant que s'han documentat molts processos de contaminació entre els individus d'aquest centre, no seria gens estrany pensar que algun podria haver afectat les ceràmiques fins el punt d'alterar-ne significativament les seves propietats físiques originals, cosa que explicaria els valors baixos obtinguts en el test de resistència a la fractura. Sigui com sigui, la corroboració d'alguna d'aquestes possibilitats, així com la definició d'altres hipòtesis al respecte, s'haurien de fonamentar en un ampliació del nombre d'individus caracteritzats, especialment pel que afecta les propietats mecàniques.

## **8.6 Collet de Sant Antoni de Calonge (Calonge)**

El jaciment del Collet de Sant Antoni de Calonge representa un dels grans centres productors d'àmfores situats al nord de Catalunya. Els primers nivells associats a les estructures del taller es documenten a pocs metres d'un edifici de caire residencial interpretat com una *villa* romana, la fundació de la qual se situa entre el període baix-republicà i augustal, i que possiblement es manté en funcionament fins al segle V dC (Nolla *et al.* 2002). Respecte el centre productor han estat proposades dues fases de

funcionament. La primera fase es correspon a una ocupació d'època augustal, en la que es documenten tres forns de planta rectangular i altres set forns de petites dimensions de planta circular, a més de diverses àrees de treball i abocadors. Els fragments d'àmfora que s'identifiquen majoritàriament en els estrats d'aquesta primera fase corresponen al tipus Pascual 1, els quals conformen la major part dels individus caracteritzats (CAL001-CAL033). Així mateix, també s'han analitzat individus que formen part d'altres tipus minoritaris recuperats en el jaciment, com Laietana 1/Tarraconense 1 (CAL034-CAL035), Dressel 7-11 (CAL036) i Oberaden 74 (CAL037, CAL038). Durant la segona fase de funcionament hi ha una sèrie de remodelacions en les àrees de treball i se'n construeixen de noves, entre elles quatre forns de planta rectangular. Per a aquesta segona fase de funcionament s'ha proposat una data *post quem* del 60 dC, a partir d'una moneda recuperada a l'interior d'un abocador format majoritàriament pel tipus Dressel 2/4. Després d'aquest període d'activitat, els àmbits de treball són abandonats en algun moment al llarg del tercer quart del segle I dC. Des del segle II dC fins època tardana l'àrea de taller és ocupada per una necròpolis que es relaciona amb la *villa* romana (Nolla *et al.* 2004).

### 8.6.1 Caracterització química

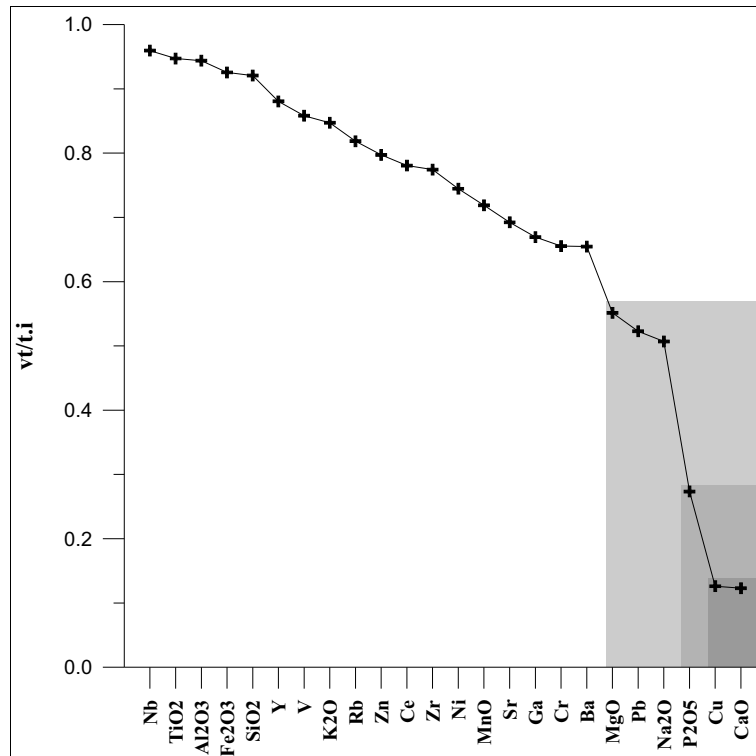
El càlcul de la matriu de variació composicional (MVC) dels 38 individus de Calonge sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (com a Fe total),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , MnO,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$ , MgO, CaO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Cu, Ni i Cr, dóna com a resultat una variació total que es pot considerar molt elevada ( $vt=1.35067$ ), clarament superior a la de la resta dels centres productors considerats (Taula 56, Annex 1). En la Figura 123 s'il·lustra l'aportació de cada element químic a la variabilitat total en funció dels valors  $vt/\tau_i$  obtinguts en el càlcul de la MVC. La variabilitat total ve proporcionada en gran mesura pels vectors columna  $\tau_{i,\text{CaO}}$  ( $\tau_{i,\text{CaO}}=10.98387$ ;  $vt/\tau_{i,\text{CaO}}=0.12297$ ),  $\tau_{i,\text{Cu}}$  ( $\tau_{i,\text{Cu}}=10.71279$ ;  $vt/\tau_{i,\text{Cu}}=0.12608$ ) i, en menor mesura, pels vectors columna  $\tau_{i,\text{P}_2\text{O}_5}$  ( $\tau_{i,\text{P}_2\text{O}_5}=4.93924$ ;  $vt/\tau_{i,\text{P}_2\text{O}_5}=0.27346$ ),  $\tau_{i,\text{Na}_2\text{O}}$  ( $\tau_{i,\text{Na}_2\text{O}}=2.66476$ ;  $vt/\tau_{i,\text{Na}_2\text{O}}=0.50686$ ),  $\tau_{i,\text{Pb}}$  ( $\tau_{i,\text{Pb}}=2.58419$ ;  $vt/\tau_{i,\text{Pb}}=0.52267$ ) i  $\tau_{i,\text{MgO}}$  ( $\tau_{i,\text{MgO}}=2.44930$ ;  $vt/\tau_{i,\text{MgO}}=0.55145$ ). A l'altre extrem, el Nb apareix com l'element que menys variabilitat aporta ( $\tau_{i,\text{Nb}}=1.40750$ ;  $vt/\tau_{i,\text{Nb}}=0.95963$ ), i el considerem un candidat adient per a ésser emprat com a

denominador en la transformació de les concentracions elementals en logaritmes de raons. Així, el tractament estadístic ha estat realitzat sobre el vector composicional  $\mathbf{x}$  un cop transformat seguint l'equació següent:

$$\mathbf{x} \in S^d \rightarrow \mathbf{y} = \ln\left(\frac{\mathbf{x}_{-D}}{x_D}\right) \in R^d$$

On  $S^d$  és el simplex d-dimensional ( $d=D-1$ ) i  $\mathbf{x}_{-D}=(x_1, \dots, x_d)$ .

Un examen més acurat de la composició dels individus revela que els valors alts  $v_i/\tau_i$  dels vectors columna  $\tau_{i,P_2O_5}$ ,  $\tau_{i,Pb}$  i  $\tau_{i,Cu}$  responen a variacions que afecten especialment i de manera aparentment aleatòria a diferents individus. En el cas concret del  $P_2O_5$  es detecta la presència d'individus amb concentracions anormalment altes respecte la resta (CAL005, CAL012, CAL026, CAL035), les quals són responsables en bona mesura de l'alta variabilitat introduïda en el conjunt de les dades. La distribució de les concentracions de Pb mostra també una clara dispersió amb valors anormalment alts en certs individus (CAL001, CAL029, CAL035). El cas del Cu és encara molt més accentuat. La distribució de les concentracions de 35 individus (92.10% de les observacions) a escala logarítmica oscil·la entre -0.69 i 0.17. Els tres restants (CAL005, CAL015, CAL038) presenten uns valors de 0.47, 0.97 i 3.46, respectivament (expressat en ppm: 27, 46 i 579, respectivament). Per tant, a partir d'aquestes observacions es pot inferir que una part important de la variabilitat introduïda, considerant els elements involucrats, sigui deguda a processos de contaminació. Aquest fet sembla especialment plausible en el cas del Cu, ja que l'alta variabilitat que mostra la distribució d'aquest element està determinada en gran mesura per un sol individu (CAL038).

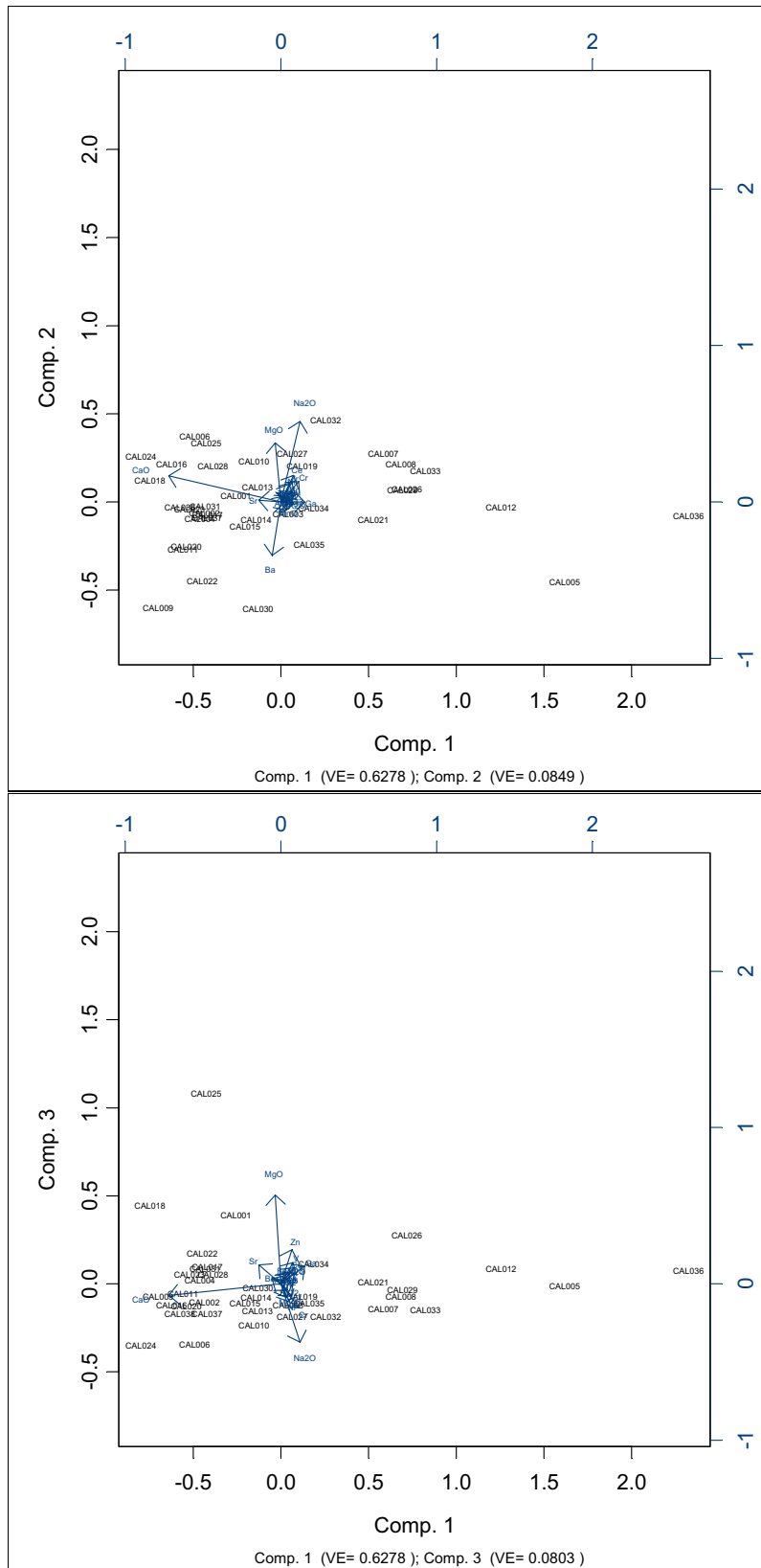


**Figura 123.** Gràfic bivariant dels elements químics retinguts per a l'anàlisi ordenats per rang descendent (en absccisses) en funció dels valors  $vt/\tau_i$  (en ordenades).

Per tal d'evitar les pertorbacions provocades per aquests possibles processos de contaminació, hem repetit el càlcul de la MVC sense considerar aquests tres elements. Com era d'esperar, la variació total s'ha vist reduïda ( $vt=0.73495$ ), per bé que encara s'ha de considerar un valor molt elevat (Taula 57, Annex 1). Aquesta alta variabilitat continua lligada fortament al vector columna  $\tau_{i,\text{CaO}}$  ( $\tau_{\text{CaO}}=9.11748$ ;  $vt/\tau_{\text{CaO}}=0.08061$ ). Aquest fenomen també s'ha documentat en la caracterització dels tallers anteriors, per bé que en aquest cas l'explicació és completament diferent. Mentre que en els casos anteriors, el CaO era un dels elements que més contribuïa a la variabilitat del conjunt de dades composicionals a causa d'uns valors anormalment alts en pocs individus, però dins d'un conjunt representat exclusivament per ceràmiques poc calcàries, el cas de Calonge representa un conjunt on hi ha representades ceràmiques poc calcàries ( $\text{CaO}<5-6\%$ ), ceràmiques calcàries ( $\text{CaO}>5-6\%$ ), algunes que se situen en el límit entre aquestes

dues categories i, fins i tot, ceràmiques altament calcàries ( $\text{CaO} > 15-16\%$ ). Aquest ampli rang recorregut pel contingut en CaO és el que explica la important contribució d'aquest element a la variació total del conjunt.

Amb l'objectiu de definir l'estructura subjacent a les dades químiques s'ha realitzat una primera anàlisi de components principals (ACP) sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Y}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Ce}$ ,  $\text{Ga}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Ni}$  i  $\text{Cr}$ , emprant el Nb com a divisor, i treballant sobre la matriu de variàncies-covariàncies sense rotació dels eixos. Els resultats mostren que els tres primers components principals permeten explicar un 79.3% de variació existent (mentre que els sis primers expliquen el 91.3%). En la Figura 124 apareixen els biplots resultats d'aquesta ACP. Una primera observació permet identificar l'existència d'una estructura força complexa amb una considerable dispersió dels individus en els biplots generats. Aquesta dispersió, en termes estadístics, és un reflex de l'alta variabilitat total obtinguda en el càlcul de les MVC. El primer component (Comp.1) és clarament el que resumeix la major part de la informació retinguda, explicant un 62.78% de la variància. Aquest Comp.1 està especialment lligat a l'atracció del CaO als valors negatius (del qual explica un 81.13% de la seva variació).



**Figura 124.** Biplot resultant de l'anàlisi de components principals sobre la subcomposició Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, TiO<sub>2</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr emprant el Nb com a divisor. Superior: el component principal 1 (en abscesses) i el component principal 2 (en ordenades). Inferior: el component principal 1 (en abscesses) i el component principal 3 (en ordenades).

En molta menor mesura, el Comp.1 mostra una correlació negativa amb l'Sr (explicant només un 3.15% de la seva variació), i una correlació positiva amb el Ga, Na<sub>2</sub>O, i Cr (explicant sols el 3.65, 2.33 i 2.06% de les respectives variacions) (Taula 58, Annex 1). Així doncs, és clar que el Comp.1 representa la tendència sobre el caràcter més o menys calcari de les àmfores de Calonge i que, a més, aquesta tendència és la que explica la major part de la variació existent en el conjunt de les dades.

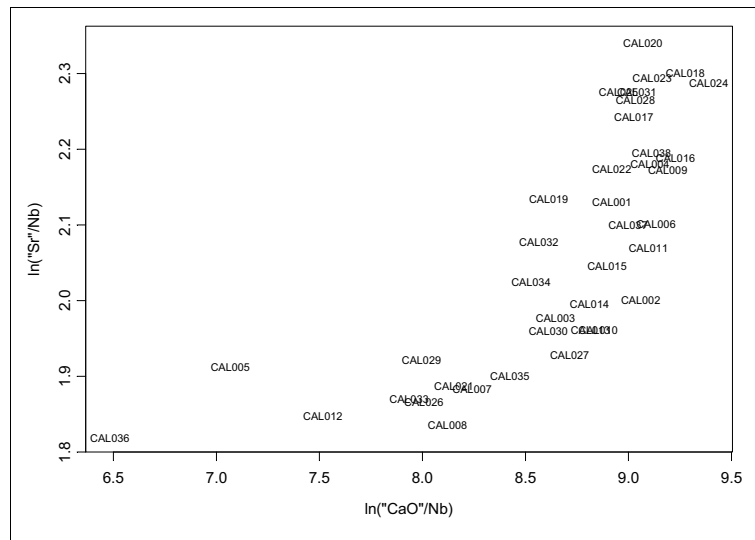
La importància del segon i del tercer component principal (Comp.2 i Comp.3) és notablement inferior en tant que ambdós expliquen un percentatge de la variància molt menor a l'explicat pel Comp.1 (8.49 i 8.03%, respectivament). Si ens fixem en el percentatge de variació de les variables originals que és explicada per aquests components (Taula 58, Annex 1), veurem que el Comp.2 està determinat bàsicament per l'atracció del Na<sub>2</sub>O i el MgO vers els valors positius (dels quals explica el 41.33 i 22.31% de les variacions respectives), així com per l'atracció del Ba vers els valors negatius (del qual explica el 18.19% de la variació). D'altra banda, el Comp.3 està associat principalment als valors positius del MgO (explica un 50.38% de la seva variació) i als valors negatius del Na<sub>2</sub>O (explica un 21.83% de la seva variació).

Les puntuacions dels individus en els biplots permet suggerir una primera separació entre en funció del Comp.1 i que, per tant, apel·la al caràcter més o menys calcari de les pastes. Com es pot apreciar en la Figura 124 (superior i inferior), a la dreta dels biplots queda en una situació extrema l'individu CAL036, el qual representa l'única àmfora del tipus Dressel 7-11 caracteritzada d'aquest centre. També amb puntuacions extremes, s'identifiquen dos individus Pascual 1 (CAL005 i CAL012). A continuació sembla definir-se una primera agrupació que mostra puntuacions similars en aquest Comp.1 (formada pels individus CAL007, CAL008, CAL019, CAL021, CAL026, CAL027, CAL029, CAL032, CAL033, CAL034 i CAL035). Tots aquests individus es diferencien de la resta, situats en la part esquerra d'ambdós biplots, per uns continguts més baixos en CaO. En alguns casos, tanmateix, les diferències composicionals van més enllà i afecten a diversos elements. Aquest és clarament el cas de l'individu CAL036, raó per la qual mostra la puntuació més extrema en els biplots.

Aquesta tendència principal sobre el caràcter més o menys calcari de les pastes de Calonge apareix il·lustrada en la Figura 125 on es presenta el gràfic bivariant dels



valors transformats de CaO i d'Sr. Com es pot observar, les concentracions de CaO es caracteritzen per una forta dispersió, així com de l'Sr per la correlació que presenten.

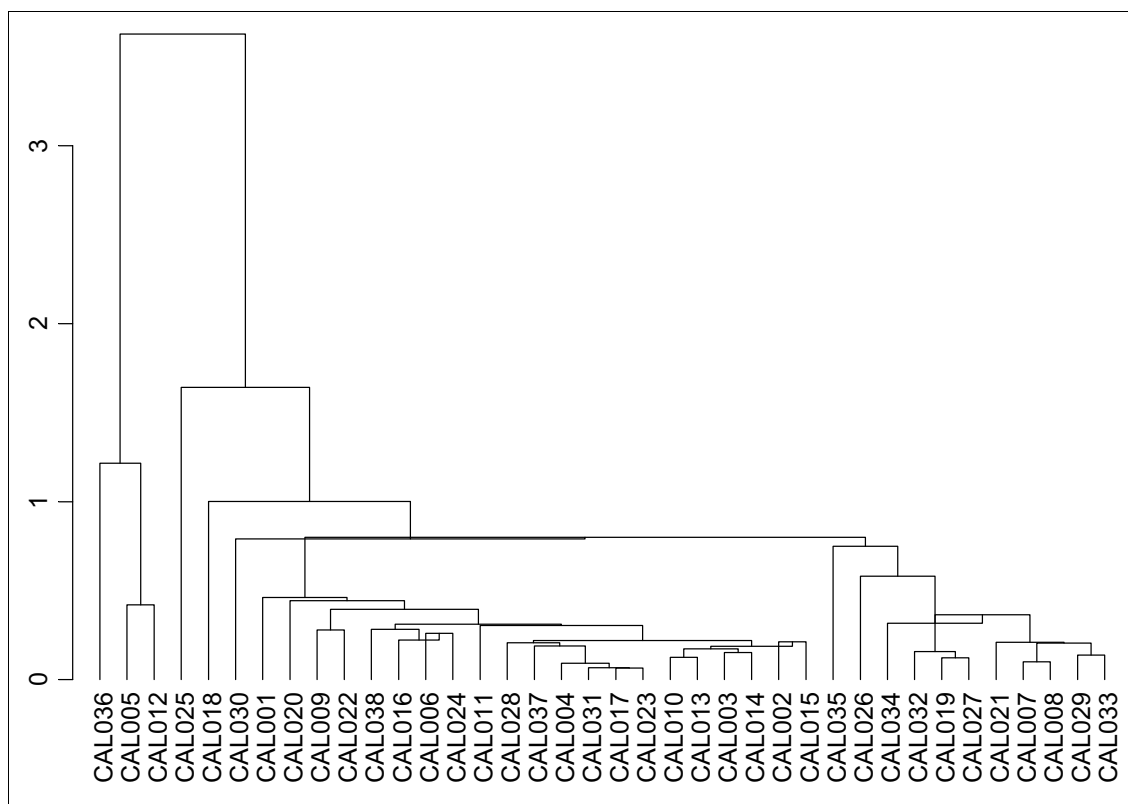


**Figura 125.** Gràfic bivariant dels valors  $\ln(\text{CaO}/\text{Nb})$ , en abscondes, i  $\ln(\text{Sr}/\text{Nb})$ , en ordedandes, dels 38 individus procedents del centre productor del Collet de Sant Antoni de Calonge.

Per corroborar els resultats obtinguts mitjançant l'ACP, hem realitzat una anàlisi de conglomerats sobre la mateixa subcomposició, emprant la distància Euclidiana al quadrat com a distància entre individus i l'algoritme aglomeratiu del centroïde. El dendrograma resultant (Figura 126) corrobora les observacions fetes anteriorment. A partir de l'anàlisi de conglomerats es poden identificar tres grans agrupacions. A l'esquerra del dendrograma queden separats els individus CAL036, CAL005 i CAL012. El fet que la seva fusió amb la resta dels individus d'aquest centre es produeixi a una distància ultramètrica tan elevada és deguda en gran mesura —però no exclusivament— a les diferències en els continguts en CaO. Aquests tres individus són els que mostren uns continguts més baixos en aquest element (1.12, 2.25, 3.28%, en dades normalitzades respectivament). Ara bé, les diferències composicionals respecte la resta de la mostra analitzada són molt més marcades en el cas de l'individu CAL036 que en

els individus CAL005 i CAL012. De fet, les diferències composicionals del primer responen fonamentalment a unes altes concentracions relatives en  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , Zn, Cr i V, així com a les ja esmentades baixes concentracions relatives en CaO i Sr. L'elevat contingut en  $\text{SiO}_2$  està d'acord amb l'observació per lupa binocular amb què s'identifiquen inclusions assimilables a fragments de quars d'una freqüència i mida majors als de la resta d'individus. D'altra banda, un examen més acurat de la composició dels individus CAL005 i CAL012 mostra l'existència de similituds importants amb els individus que conformen l'agrupació definida a la dreta del dendrograma. La principal diferència és que aquests dos individus presenten uns continguts relatius més alts en Ga. Això, junt a les concentracions molt baixes en CaO, expliquen la seva situació marginal a l'esquerra del dendrograma junt a l'individu CAL036.

A continuació es defineix un gran conglomerat format per la majoria dels individus caracteritzats, entre els quals hi ha la majoria de Pascual 1 i els dos individus Oberaden 74. En relació a aquesta agrupació cal dir que la fusió de l'individu CAL025 i, en menor mesura, de CAL018, es produeix a una distància ultramètrica superior al de la resta a causa d'uns continguts relatius anormalment alts en MgO, de difícil interpretació.

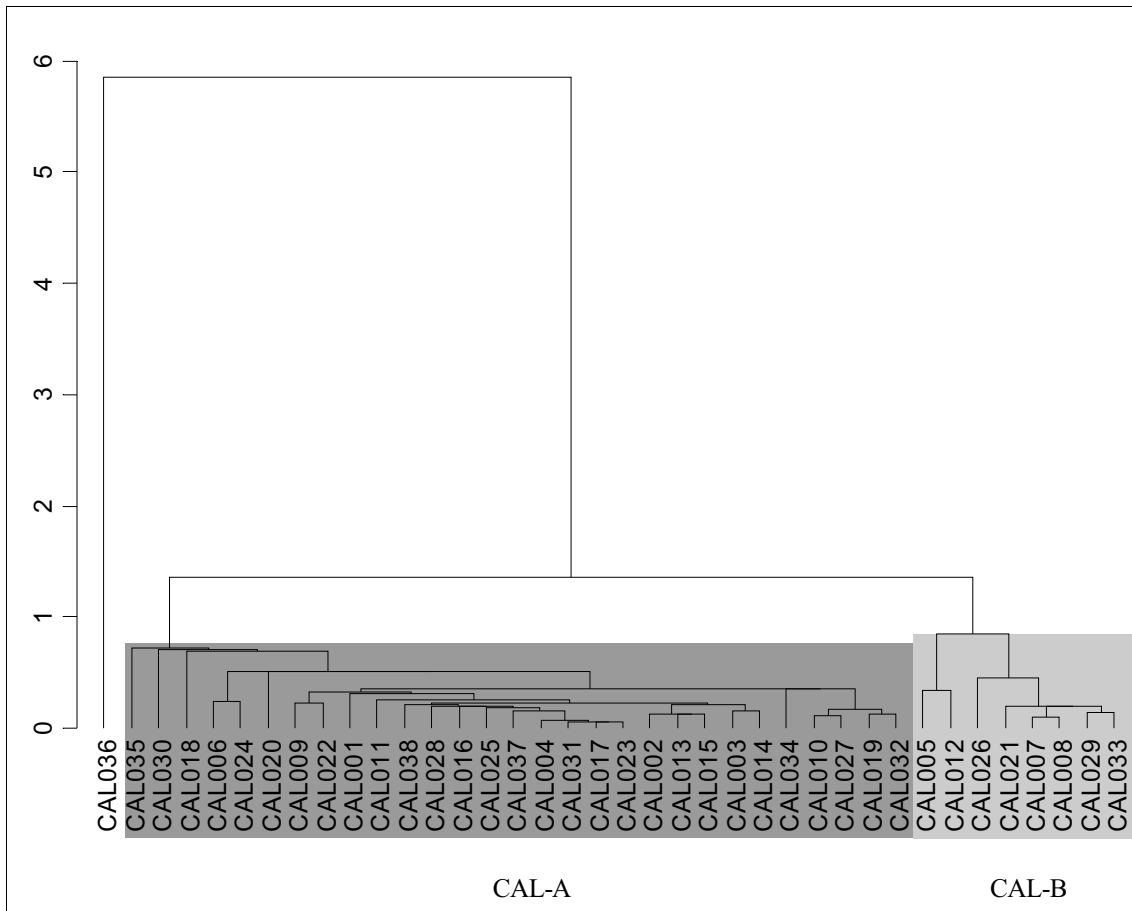


**Figura 126.** Dendrograma resultant de l'anàlisi de conglomerats dels 38 Ic del Collet de Sant Antoni de Calonge, emprant la distància euclidiana al quadrat i l'algoritme aglomeratiu del centre de gravetat sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Y}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Ce}$ ,  $\text{Ga}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Ni}$  i  $\text{Cr}$ , emprant el  $\text{Nb}$  com a divisor.

Situada a la dreta del dendrograma apareix la tercera gran agrupació formada també majoritàriament per Pascual 1. En aquest conglomerat s'agrupen els individus amb continguts relativament més baixos en  $\text{CaO}$  i més alts en  $\text{Ga}$ . No obstant, s'observa que, malgrat agrupar-se en aquest conglomerat, els individus CAL035, CAL034, CAL032, CAL019 i CAL027 presenten, en general, majors similituds composicionals amb els individus del conglomerat anterior. Per tant, la seva situació en aquesta agrupació es deuria bàsicament dominada pels continguts similars en  $\text{CaO}$  i  $\text{Ga}$ . Certament, si es repreteix l'anàlisi de conglomerats, ara sense considerar el  $\text{Ga}$  i el  $\text{MgO}$  (Figura 127), aquests individus passen a formar part de l'agrupació més gran, etiquetada com CAL-A, mentre que els individus CAL005 i CAL012, els quals quedaven en una situació marginal a l'esquerra del dendrograma passen ara a formar part de l'agrupació etiquetada com CAL-B. Igualment, els individus amb continguts anormalment alts en

MgO (CAL018 i CAL025) queden clarament agrupats dins de CAL-A, confirmant que les diferències composicionals més importants eren degudes a aquest element. Finalment, l'individu Dressel 7-11 (CAL036) es maté a l'esquerra de la gràfica, fusionant-se amb la resta de les agrupacions a una distància ultramètrica molt elevada, superior a l'anterior, ja que sense considerar les similituds relatives en Ga queden més accentuades les diferències composicionals respecte la resta d'individus.

En definitiva, la caracterització arqueomètrica permet definir dos grups de referència entre els individus de Calonge (CAL-A i CAL-B) (Taula 59, Annex 1), així com documentar-ne la presència d'un (CAL036) que, a partir de les diferències composicionals que mostra respecte la resta, es podria interpretar d'origen al·lòcton (Taula 60, Annex 1). En aquest sentit és interessant remarcar que la composició d'aquest individu mostra certes similituds que el fan compatible amb la producció FEN-B1 formada per la majoria de Dressel 2-4 de Fenals. Les principals diferències entre els dos grups CAL-A i CAL-B estan en el caràcter calcari de les pastes. Mentre que els individus del grup CAL-A presenten unes concentracions en CaO pròpies de ceràmiques calcàries i, en alguns casos, altament calcàries, el grup CAL-B està format per ceràmiques poc calcàries o en el límit entre les ceràmiques poc calcàries i les calcàries. Així mateix, s'observen també lleugeres diferències que afecten els components Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, Zr, Ce, Ga, V, Zn i Cr. A més d'aquestes diferències entre els grups, cal remarcar l'alta variabilitat existent ja dins dels mateixos grups. Part d'aquesta variabilitat podria respondre a processos de contaminació i/o alteració en certs individus. Aquest sembla ser el cas dels individus Pascual 1 CAL006, CAL024, CAL010 i CAL016 que presenten unes concentracions relatives anormalment altes en Na<sub>2</sub>O i baixes en K<sub>2</sub>O i Rb. Com es veurà en l'apartat següent, aquest fet podria estar relacionat amb la cristal·lització d'analcima durant el període d'enterrament.



**Figura 127.** Dendrograma resultant de l'anàlisi de conglomerats dels 38 Ic del Collet de Sant Antoni de Calonge, emprant la distància euclidiana al quadrat i l'algoritme aglomeratiu del centreide sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, V, Zn, Ni i Cr, emprant el Nb com a divisor.

### 8.6.2 Caracterització mineralògica

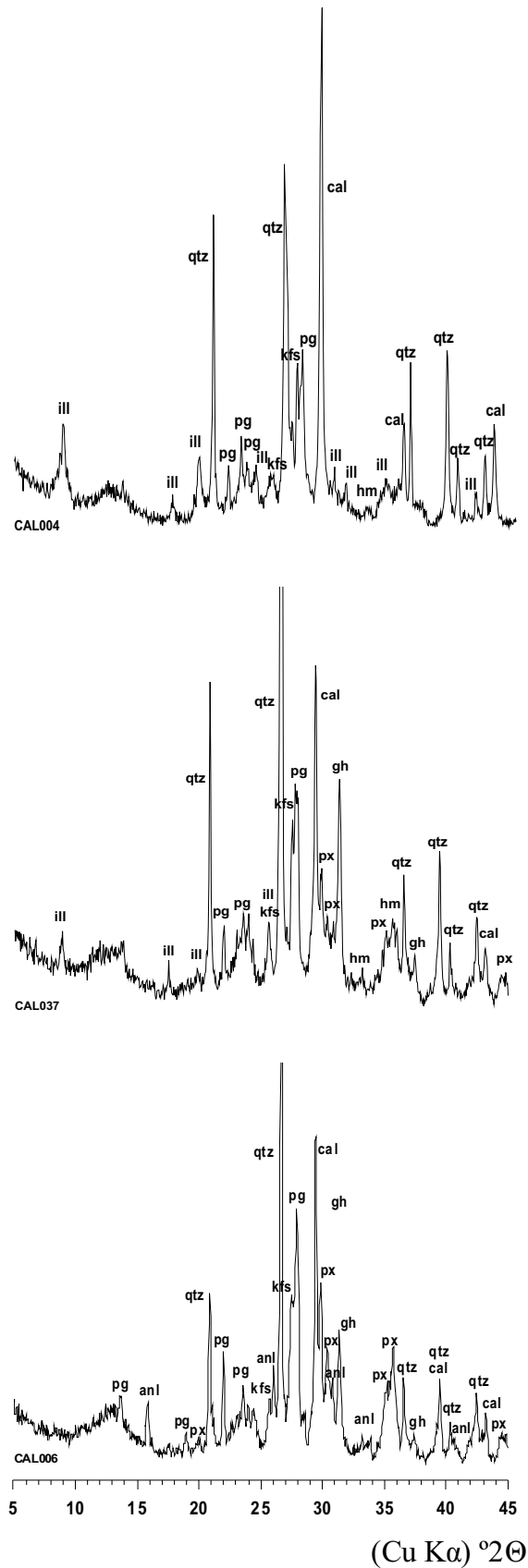
L'estudi dels difractograms permet agrupar els individus de Calonge en set fàbriques diferents en funció de l'associació de fases minerals que presenten.

Els individus que formen el grup químic CAL-A s'agrupen en 4 fàbriques diferents. La fàbrica etiquetada com CAL-AI, representada per l'individu CAL004 (Figura 128, superior), es caracteritza per la presència de quars i de calcita com a pics més intensos, així com per pics clars de filosilicats del tipus il·lita-mocovita. En aquesta

fàbrica també s'hi observen pics de plagiòclasi i feldspats alcalins, així com pics molt febles d'hematites. Tots els individus d'aquesta fàbrica (CAL004, 17, 20, 22, 23, 30, 34) presenten una matriu de color marró clar.

La fàbrica CAL-AII està representada pel difractograma de l'individu CAL037 (Figura 128, mig). En aquesta fàbrica els pics de quars i de calcita són també els de major intensitat, si bé els pics d'il·lita-mocovita presenten una intensitat menor. Junt als pics de plagiòclasi i feldspat alcalí, apareixen també fases de cocció habituals en ceràmiques calcàries com piroxens i gehlenita. També s'observa un lleuger augment en els pics d'hematites el que explicaria el color més intens en els individus d'aquesta fàbrica (CAL001, 9, 11, 13, 14, 15, 18, 19, 25, 32, 37, 38).

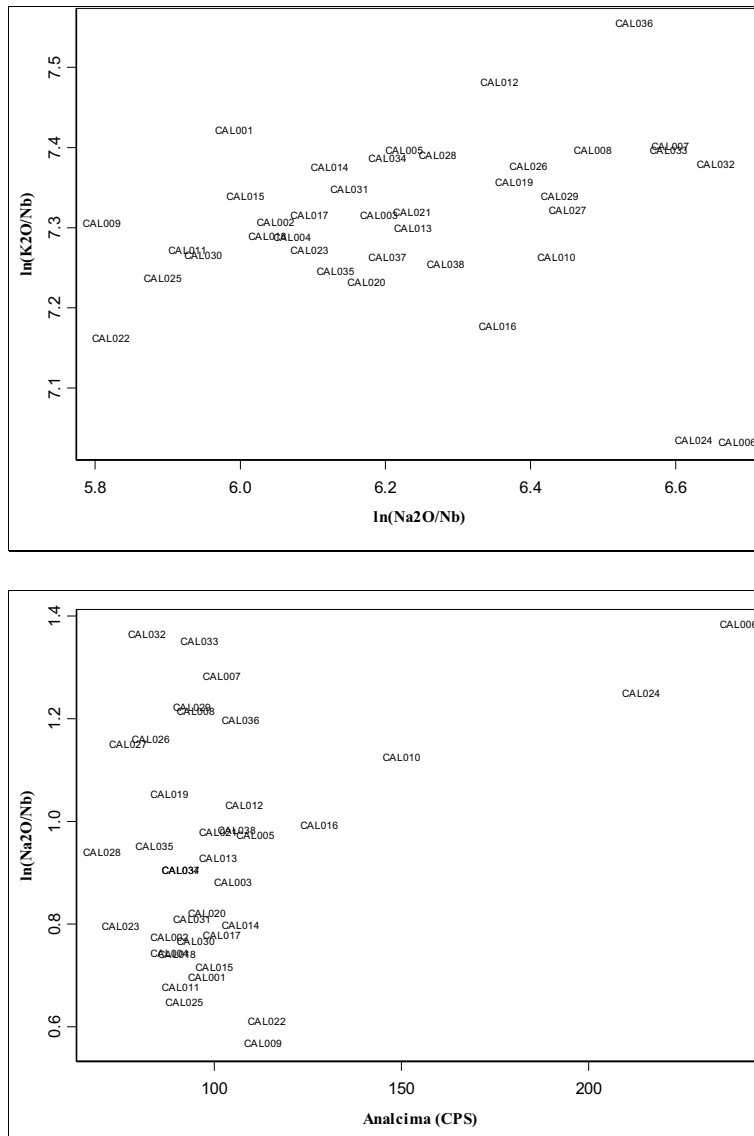
En els difractogrames dels individus agrupats en la fàbrica CAL-AIII (CAL002, 3, 6, 10, 16, 24, 28, 31) (Figura 128, inferior) s'observen, junt a la desaparició de les il·lites, pics clars de calcita i un important augment en la intensitat dels pics de plagiòclasi, piroxens i gehlenita. La baixa intensitat dels pics de feldspat alcalí podria deure's bé a la seva descomposició en haver assolit unes altes temperatures durant la cocció d'aquestes ceràmiques o bé a que el desenvolupament de la plagiòclasi provoca un solapament dels seus pics. En qualsevol cas sembla clar que els individus d'aquesta fàbrica assoliren unes altes temperatures durant la seva cocció, com també ho palesa la reducció d'intensitat en els pics de quars i la presència d'analcima en alguns individus (CAL006, 10, 16, 24), els pics de la qual podrien estar solapant parcialment els d'hematites. La composició d'aquests individus mostra uns continguts relatius en  $\text{Na}_2\text{O}$  majors als de la resta del grup i menors en  $\text{K}_2\text{O}$  i Rb. Estudis precedents han observat la concurrència de valors relatius anormalment alts en  $\text{Na}_2\text{O}$  i baixos en  $\text{K}_2\text{O}$  en ceràmiques calcàries cuites a alta temperatura (Lemoine *et al.* 1981; Picon 1986, 1991; Schmitt 1989). L'explicació més plausible a dia d'avui sembla relacionar aquest fet amb un doble procés d'alteració. La cocció d'aquestes ceràmiques provocaria l'aparició d'una fase vítria inestable rica en K. L'alteració d'aquesta fase vítria facilitaria la lixiviació de K i, en alguns casos, també de Rb, donant lloc, en un segon moment, a la cristal·lització d'analcima en la ceràmica que podria aportar Na al·lòcton provinent del context de deposició (Buxeda *et al.* 2002a; Schwedt *et al.* 2006).



**Figura 128.** Diffractogrames representatius de les fàbriques CAL-AI (superior), CAL-AII (mig) i CAL-AIII (inferior). **anl**=analcima; **cal**=calcita; **gh**=gehlenita; **hm**=hematites; **ill**=il·lita-mocovita; **kfs**=feldspat potàssic; **pg**=plagiòclasi; **qtz**=quars.

La presència d'analcima així com el seu efecte en les concentracions relatives de  $\text{Na}_2\text{O}$  i  $\text{K}_2\text{O}$  en els individus CAL010, CAL016 i, especialment, CAL006 i CAL024 es pot apreciar en la Figura 129 on es presenten els valors transformats d'aquests components (superior), i on també s'il·lustren en un gràfic bivariant els valors transformats de  $\text{Na}_2\text{O}$  i la presència d'analcima, expressada en contes per segon (CPS) semiquantificades a partir del pic  $5.59\text{Å}$  ( $15.84^\circ 2\Theta$ ) (inferior).

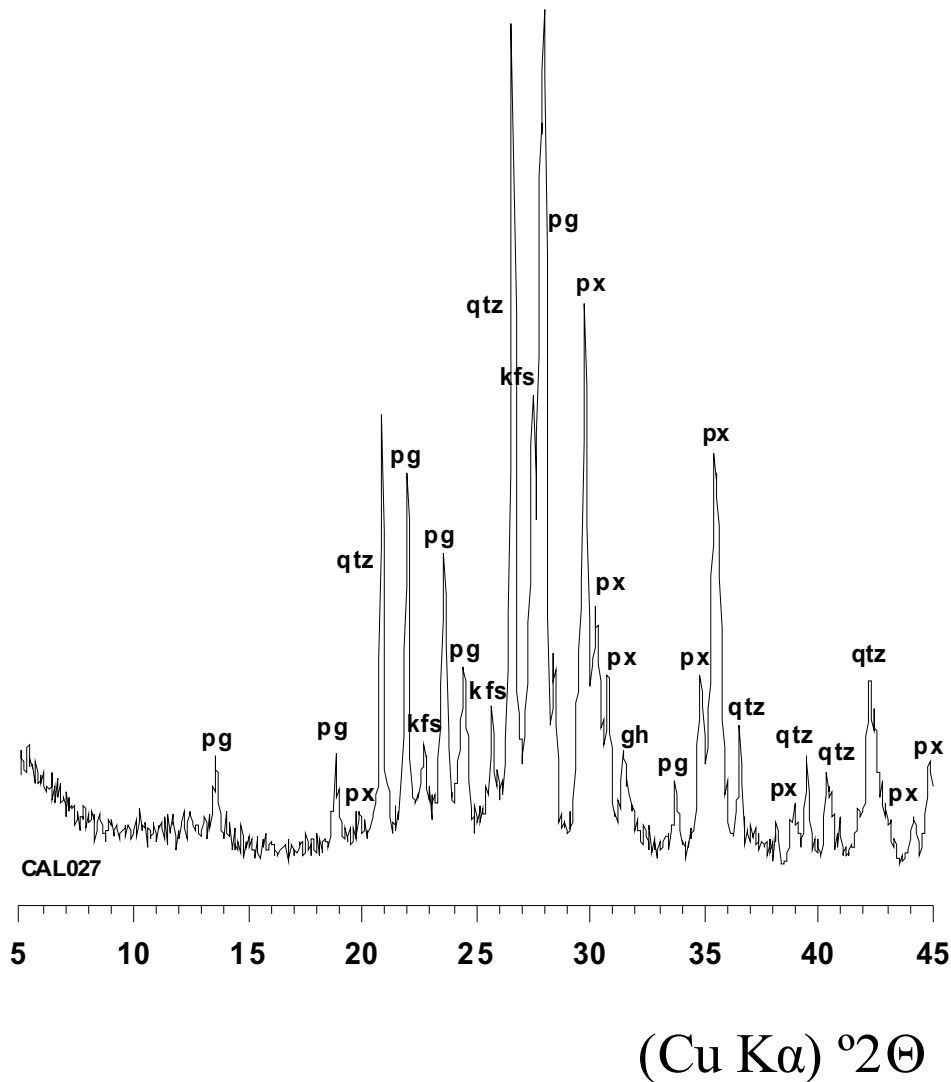




**Figura 129.** Superior: Gràfic bivariant dels valors  $\ln(K_2O/Nb)$ , en ordenades, i  $\ln(Na_2O/Nb)$ , en abscisses. Inferior: Gràfic bivariant dels valors  $\ln(Na_2O/Nb)$ , en ordenades, i analcima expressada en contes per segon (CPS) semiquantificades a partir del pic  $5.59\text{Å}$  ( $15.84^\circ 2\theta$ ), en abscisses.

La fàbrica CAL-AIV, formada pels individus CAL027 i CAL035, presenta com l'anterior la total desaparició dels pics d'il·lita-mocovita. En aquest cas existeix però una major intensitat en els pics de piroxens i plagiòclasi, així com una menor intensitat en els pics de quars i de gehlenita. A diferència dels casos anteriors, en els individus d'aquesta fàbrica no s'hi observa cap pic de calcita —tot i que es puguin considerar

igualment com ceràmiques calcàries (amb uns continguts en CaO de 11.03 i 9.39%, respectivament)—, ni tampoc d'hematites (Figura 130).



**Figura 130.** Diffractograma representatiu de la fàbrica CAL-AIV. **gh**=gehlenita; **hm**=hematites **kfs**=feldspat potàssic; **pg**=plagiòclasi; **qtz**=quars

Per la seva banda, els individus del grup químic CAL-B poden agrupar-se en 3 fàbriques diferents. La fàbrica CAL-BI (CAL005, CAL012, CAL021) presenta uns pics clars d'il·lita-moscovita, quars, feldspat alcalí, plagiòclasi i calcita. Així mateix, també es poden observar pics de baixa intensitat d'hematites (Figura 131, superior). L'individu

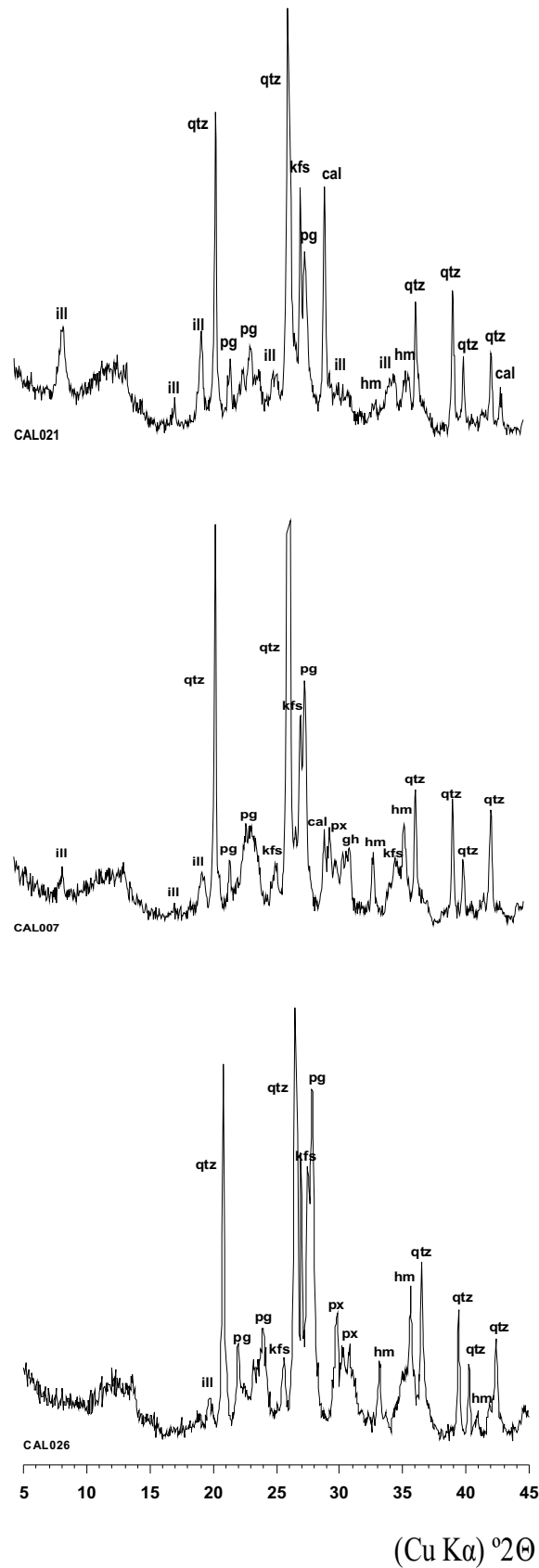
Dressel 7-11 (CAL036) presenta una associació de fases cristal·lines que poden agrupar-se amb aquesta fàbrica.

Els individus de la fàbrica CAL-BII (CAL007, CAL008, CAL029, CAL033) presenten també els pics de quars com els de major intensitat. Les principals diferències respecte la fàbrica anterior s'observen en els pics d'il·lites i calcita, de menor intensitat, i en els pics de plagiòclasi i hematites, de major intensitat. A més, en aquesta fàbrica s'observen incipients pics de piroxens i gehlenita (Figura 131, mig).

Finalment, la fàbrica CAL-BIII està formada per un sol individu (CAL026). En el difractograma d'aquest individu no s'observen pics d'il·lita-moscovita ni de calcita. Per altra banda, els pics de quars mostren una intensitat menor, mentre que augmenta clarament la intensitat en els pics de piroxens, plagiòclasi i hematites (Figura 131, inferior).

Les agrupacions anteriors suggereixen un augment progressiu de les temperatures de cocció tant des de la fàbrica CAL-AI a CAL-AIV com de la fàbrica CAL-BI a CAL-BIII. Per tal de confirmar aquesta hipòtesi, en aquest cas s'ha pogut realitzar un experiment de recocció sobre els individus CAL004 i CAL021, que suposadament representen les fàbriques de més baixa temperatura per a cada grup químic. Cada individu ha estat després de 7 fragments d'aproximadament 3 g cada un amb els quals s'han realitzat recoccions en un forn elèctric d'atmosfera oxidant a 800, 850, 900, 950, 1000, 1050 i 1100 °C amb una augment de la temperatura de 100 °C h<sup>-1</sup>, mantenint la temperatura màxima durant 1 h, i refredament lliure.

El resultat de l'experiment, resumit en la Figura 132, corrobora l'augment progressiu en les temperatures de cocció i permet proposar les temperatures de cocció equivalent (TCE) per a cada fàbrica (Taula 61, Annex 1).



**Figura 131** Difractogrames representatius de les fàbriques CAL-BI (superior), CAL-BII (mig) i CAL-BIII (inferior). **cal**=calcita; **gh**=gehlenita; **hm**=hematites; **ill**=il·lita-mocovita; **kfs**=feldspat potàssic; **pg**=plagiòclasi; **qtz**=quars.



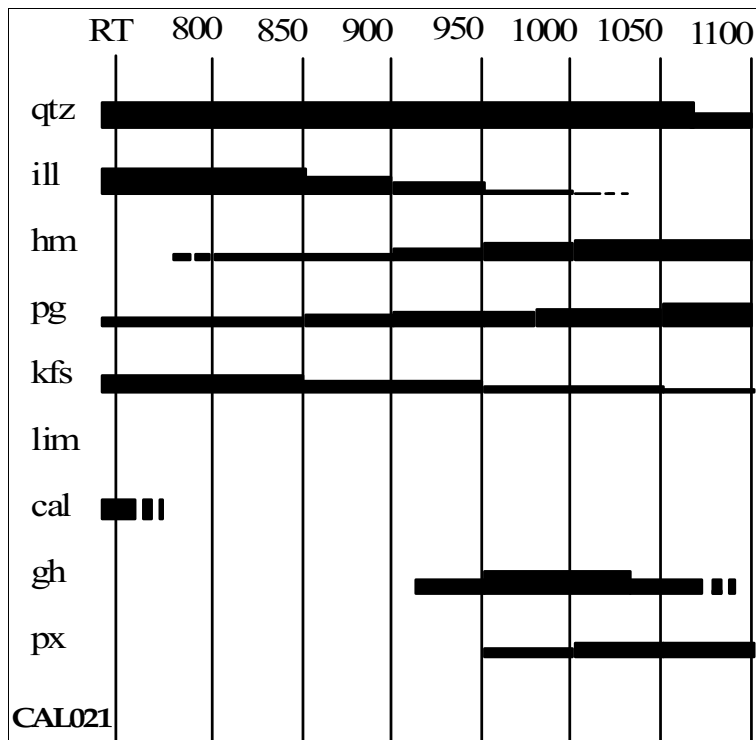
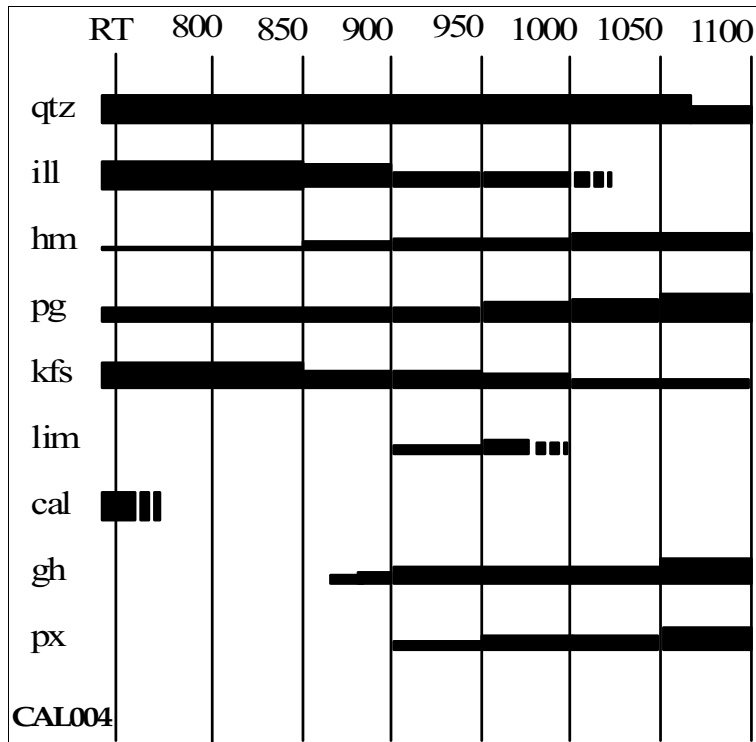
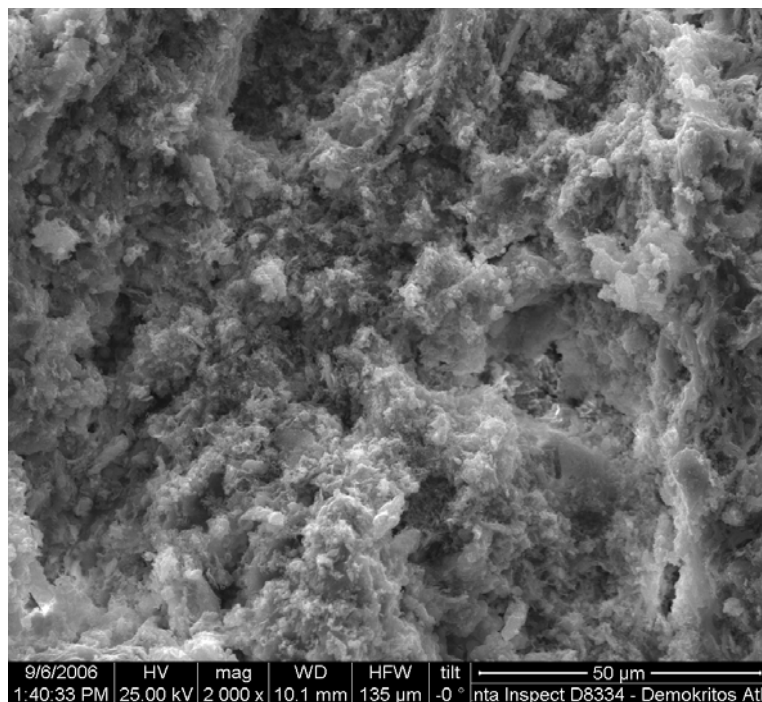


Figura 132. Resultats de l'experiment de recocció sobre els individus CAL004 (superior) i CAL021 (inferior) realitzat a 800, 850, 900, 950, 1000, 1050 i 1100°C. **qtz**=quars, **ill**=il·litamoscovita, **hm**=hematites, **pg**=plagiòclasi, **kfs**=feldspat alcalí, **lim**=calcí, **cal**=calcita, **gh**=gehlenita, **px**=piroxé.

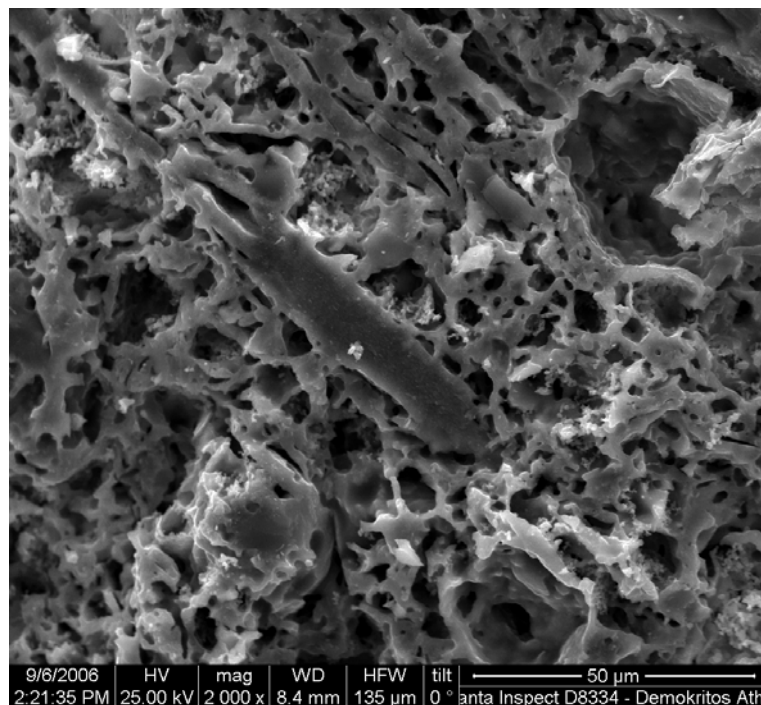
La presència de pics clars d'il·lita i calcita, així com la baixa intensitat dels d'hematites permet proposar per a la fàbrica CAL-AI una TCE inferior als 850°C. L'estudi per MER de la microestructura i de l'estadi de sinterització de la matriu d'aquests individus permet corroborar aquesta TCE ja que no s'hi observa la formació de vitrificació, a excepció d'alguns casos on s'identifica una vitrificació inicial (Figura 133).



**Figura 133.** Microfotografia realitzada per MER a 2000X sobre la matriu de l'individu CAL004.

La disminució en els pics d'il·lita junt a l'augment dels d'hematites i l'aparició de piroxens i gehlenita permeten proposar una TCE per a la fàbrica CAL-AII d'entre 850/900-950°C. Tanmateix la presència de calcita en els individus d'aquesta fàbrica, i en els de les següents fàbriques de major temperatura, seria incompatible amb aquestes temperatures estimades. És important remarcar que aquesta fase s'observa en tots els individus de les fàbriques CAL-AII i CAL-AIII. La presència de calcita en aquests casos es deuria a que, tot i haver assolit unes altes temperatures, no hauria tingut temps per una completa dissociació, o bé a que el seu origen és secundari (Cau *et al.* 2002). En

aquest sentit, la calcita present en els individus de la fàbrica CAL-AII podria respondre a una recarbonatació del CaO, donat que en aquest rang de temperatura s'observa la presència de pics de calci. En qualsevol cas, aquesta possibilitat no pot ser corroborada per l'estudi mineralògic per DRX, tècnica que no permet identificar l'origen de la calcita. La completa descomposició d'il·lites-moscovites i el desenvolupament dels pics de plagiòclasi, piroxens i gehlenita permet proposar una TCE d'entre 1000/1050-1100°C per a la fàbrica CAL-AIII. En aquest rang de temperatures no s'observen ja pics de calci, per la qual cosa la calcita existent en aquests individus hauria de respondre a un origen secundari, amb la possible aportació de CaO al·lòcton. En aquest cas la matriu dels individus exhibeix una vitrificació continuada avançada que situaria la TCE en el rang 1050-1080 °C, corroborant el rang proposat mitjançant DRX (Figura 134).

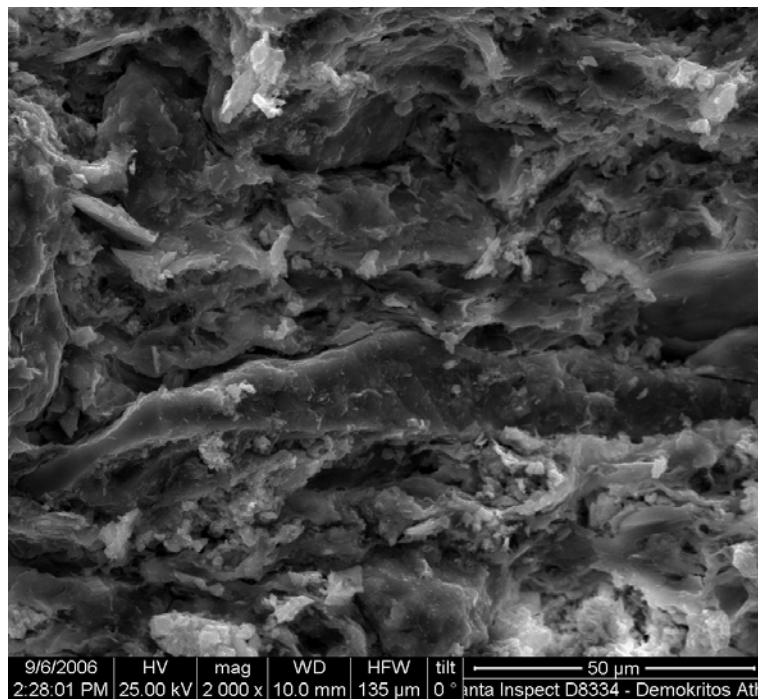


**Figura 134.** Microfotografia realitzada per MER a 2000X sobre la matriu de l'individu CAL006.



Pel que respecta a la fàbrica CAL-AIV, la TCE es situaria molt probablement per sobre dels 1100°C, atès el desenvolupament que presenten les fases de cocció de plagiòclasi i piroxens, però especialment per la important reducció en els pics de gehlenita i, en menor mesura, de quars.

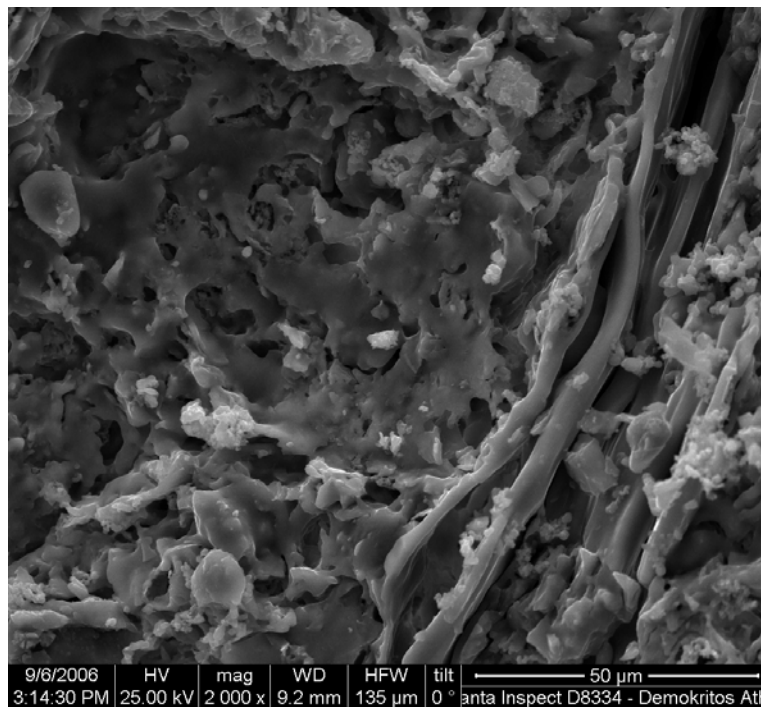
Finalment, l'associació de fases cristal·lines dels individus de la fàbrica CAL-BI suggereix una TCE menor als 850°C. D'acord amb aquesta estimació, l'estat de sinterització de la matriu d'aquests individus mostra una vitrificació inicial (Figura 135).



**Figura 135.** Microfotografia realitzada per MER a 2000X sobre la matriu de l'individu CAL021.

Per a la fàbrica CAL-BII, atesa la disminució d'intensitat de les il·lites i l'augment de les plagiòclasi i hematites, es pot proposar una TCE en el rang 900/950-1000°C, mentre que la total desaparició de les il·lites en l'individu de la fàbrica CAL-BIII, així com l'important desenvolupament dels piroxens, plagiòclasi i hematites

situaria la TCE entre 1000-1050°C, rang que queda corroborat per l'estudi per MER d'aquest individu que mostra un estadi de vitrificació continuada avançada (Figura 136).



**Figura 136.** Microfotografia realitzada per MER a 2000X sobre la matriu de l'individu CAL026.

### 8.6.3 Conclusions

Els resultats mostren com el conjunt d'àmfores analitzat procedent de la primera fase de funcionament del taller de Sant Antoni de Calonge presenta una variabilitat química superior a la que seria d'espera en un conjunt recuperat en un centre productor. Aquesta alta variabilitat sembla respondre, en part, a un procés poc estandarditzat en la preparació de les pastes emprades en la confecció de les àmfores, que sembla ser la tendència general en aquestes produccions amforals. En aquest sentit, el marc geològic i les matèries primeres disponibles, però també els costos de producció, relacionat amb el tipus de mà d'obra encarregada de la seva fabricació, el seu coneixement o tradicions

tecnològiques i els propis propòsits que guien la configuració dels envasos han de ser factors claus en l'explicació d'aquest fenomen.

Així mateix, aquest estudi han permès definir dos grups de referència per al centre productor de Calonge, identificant-se una producció clarament calcària (CAL-A) i un altre situada en el límit entre les ceràmiques calcàries i poc calcàries (CAL-B). Aquests grups suposen el primer pas per una posterior afiliació a aquest centre de ceràmiques de provenença desconeguda. La situació de les diferents tipologies amforals dins dels grups definits permet afirmar, a més, que les àmfores dels tipus Oberaden 74 analitzades foren fabricades amb uns materials d'unes característiques tècniques molt similars a la majoria de Pascual 1 calcàries d'aquest centre. Per la seva banda, la composició de les pastes emprades en la fabricació del tipus Laietana 1/Tarraconense 1 analitzats no presenten unes característiques tècniques significativament diferenciades respecte de la majoria de Pascual 1, ni pel que respecta a la composició química ni a les TCE d'aquests individus. En aquest sentit, la majoria de les àmfores d'aquest centre semblen haver estat cuites a unes temperatures situades entre 900-1000°C. Un cas apart el representa l'àmfora Dressel 7-11, que mostra unes diferències composicionals que podrien suggerir un origen al·lòcton per a aquest individu. El fet que les pastes emprades en la fabricació d'aquest individu siguin clarament les menys calcàries del conjunt analitzat suposa, a més, la participació d'uns paràmetres tecnològics clarament diferenciats respecte de la resta. Aquestes diferències s'haurien de manifestar ja durant el procés de modelatge de l'àmfora, durant la seva cocció i durant el seu funcionament com a envàs de transport (Maniatis i Tite 1981; Vila *et al.* en premsa-b). Així mateix, aquestes característiques són també observades en dues Pascual 1, que corresponen als individus menys calcaris del grup CAL-B (CAL005 i 12). A l'igual que la Dressel 7-11, aquests individus representen les fàbriques cuites a unes TCE més baixes (<850°C).

Els resultats discutits anteriorment es sumen a la gran complexitat observada en el fenomen de les àmfores, amb l'existència d'una multiplicitat de grups de referència, superior a la dels centres productors, que són, a més, d'una variabilitat composicional superior a la d'altres produccions ceràmiques. Aquests resultats demostren que, en el cas que ens ocupa, la definició dels grups de referència en els propis centres productors és absolutament necessària per poder entendre correctament la diversitat de produccions

que poden abastar els centres receptors.

## 8.7 Llafranc (Palafrugell)

En el jaciment de Llafranc es documentà l'existència d'una àrea de premsatge i d'un conjunt de tres forns, als quals s'associen diversos abocadors i magatzems que configurarien un centre terrisser que hauria funcionat des dels darrers anys del segle I aC fins a finals del segle I dC (Barti *et al.* 2004). És interessant remarcar el fet que aquest taller és el que se situa més al nord de tots aquells en què, en l'actual àrea de Catalunya, es documenta la producció de Pascual 1.

Procedent d'aquest jaciment s'ha caracteritzat arqueomètricament un conjunt format per 30 individus Pascual 1 (LLA001-LLA009, LLA011-LLA012, LLA014-LLA021, LLA023-LLA031, LLA033-LLA034), completat amb 4 individus d'àmfora Dressel 7-11 (LLA010, LLA013, LLA022, LLA032). Tots ells han estat recuperats en la mateixa àrea de forns i abocadors.

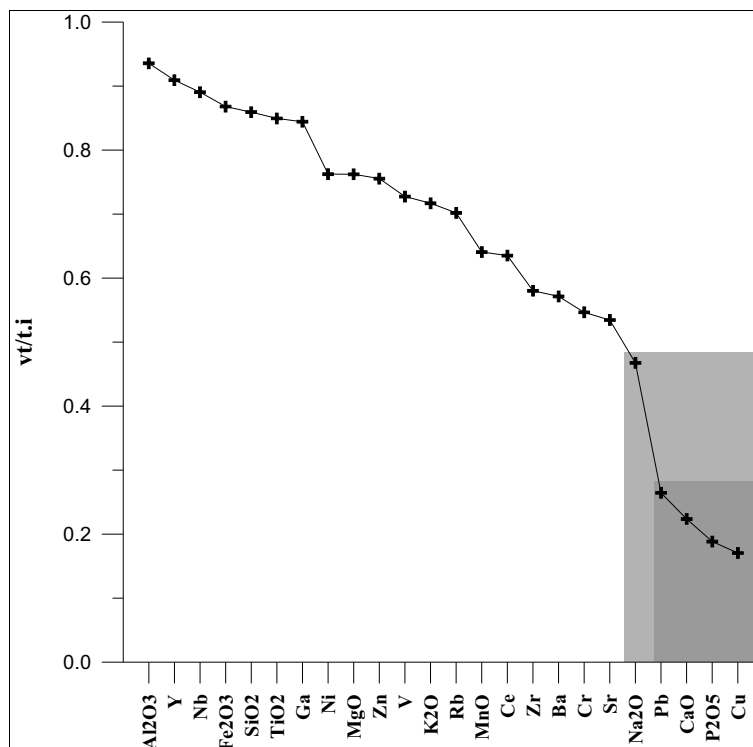
### 8.7.1 Caracterització química

La matriu de variació composicional (MVC) resultant del tractament estadístic (Taula 62, Annex 1) ens dóna la informació necessària per mesurar la variabilitat existent en el conjunt de les dades, així com per investigar-ne l'origen. En el present cas, la  $v_t$  ens dóna un valor de 0.82593, que pot considerar-se relativament alt, atès el suposat caràcter monogènic de la mostra analitzada. En la Figura 137 s'il·lustra l'aportació de cada element químic a la variabilitat total en funció dels valors  $v_t/\tau_i$  obtinguts en el càlcul de la MVC. La  $v_t$  ve proporcionada en gran mesura pels vectors columna  $\tau_{i.Cu}$  ( $\tau_{i.Cu}=4.8486$ ;  $v_t/\tau_{i.Cu}=0.17034$ ),  $\tau_{i.P2O5}$  ( $\tau_{i.P2O5}=4.38733$ ;  $v_t/\tau_{i.P2O5}=0.18825$ ),  $\tau_{i.CaO}$  ( $\tau_{i.CaO}=3.69313$ ;  $v_t/\tau_{i.CaO}=0.22364$ ) i  $\tau_{i.Pb}$  ( $\tau_{i.Pb}=13.12363$ ;  $v_t/\tau_{i.Pb}=0.26441$ ). Igualment, cal destacar també la variabilitat imposada pel vectors columna  $\tau_{i.Na2O}$  ( $\tau_{i.Na2O}=1.76694$ ;  $v_t/\tau_{i.Na2O}=0.46744$ ), per al qual la variació total de l'estructura de covariància representa menys del 50% del seu valor. Contràriament a aquests, els elements que imposen menys variabilitat són l'Y ( $\tau_{i.Y}=0.908338$ ;  $v_t/\tau_{i.Y}=0.909289$ ), que imposa una variabilitat inferior al 10% i, sobre tot, l' $Al_2O_3$  ( $\tau_{i.Al_2O_3}=0.882718$ ;

$vt/\tau \cdot Al_2O_3 = 0.935680$ ), que imposa una variabilitat inferior al 7%. Per tant, aquest darrer component és el millor situat per a ésser emprat com a divisor en la transformació en logaritmes de raó. Així, el vector composicional d-dimensional  $\mathbf{x}$  ha estat transformat segons:

$$\mathbf{x} \in S^d \rightarrow \mathbf{y} = \ln\left(\frac{\mathbf{x}_{-D}}{x_D}\right) \in R^d$$

on  $S^d$  és el simplex d-dimensional ( $d=D-1$ ) i  $\mathbf{x}_{-D}=(x_1, \dots, x_d)$ , emprant les concentracions d' $Al_2O_3$  com a divisor.



**Figura 137.** Gràfic bivariant dels elements químics retinguts per a l'anàlisi ordenats per rang descendent (en abscesses) en funció dels valors  $vt/\tau_i$  (en ordenades).

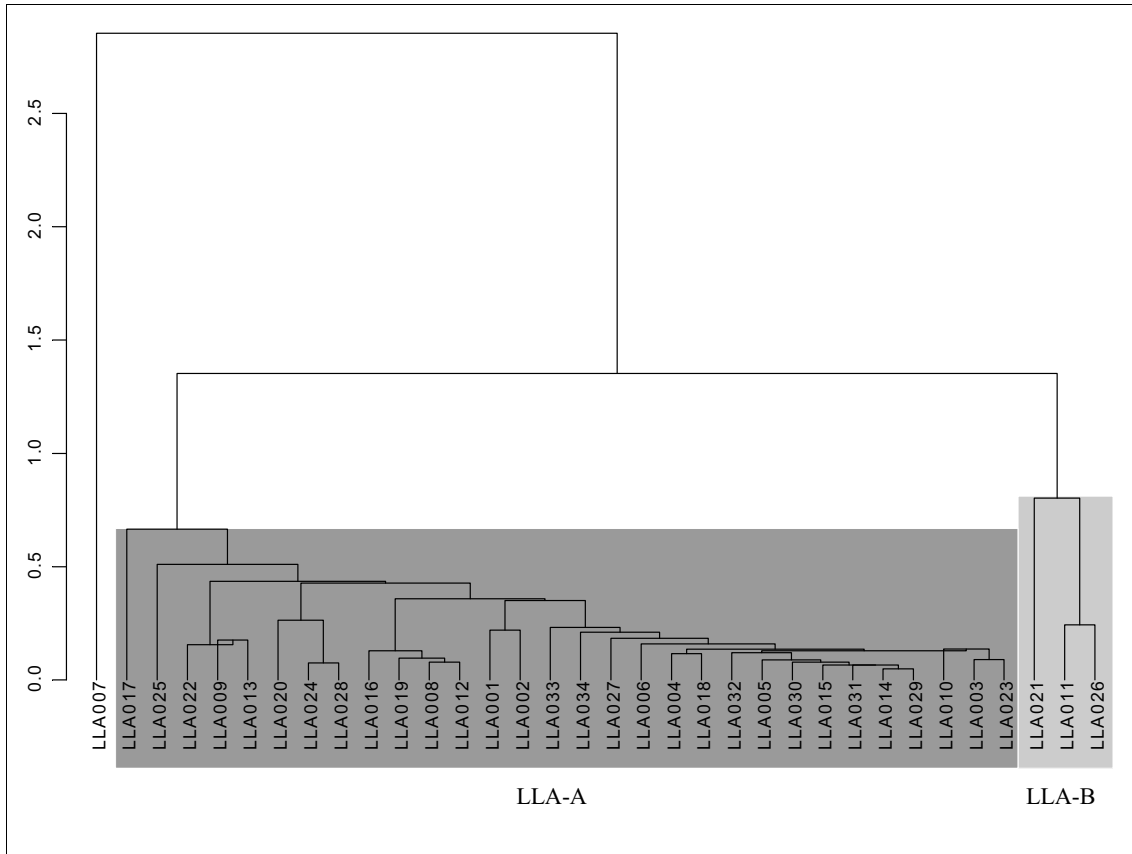
Un cop més, s'observa que la variació dels elements  $P_2O_5$ , Pb i Cu està fortament lligada a processos de contaminació, molt probablement postdeposicional.

Com ja hem demostrat al llarg del Capítol 7, entre els individus procedents de Llafranc es detecten concentracions anormalment altes en aquests tres components<sup>45</sup>. Els casos més aberrants corresponen als individus LLA025, amb uns continguts anormalment alts en  $P_2O_5$  i Pb, LLA024, amb uns continguts anormalment alts en Pb, i els individus LLA023 i, molt especialment, LLA010 amb unes concentracions aberrants en Cu. A més d'aquestes concentracions aberrants, cal remarcar que, especialment en el cas del  $P_2O_5$ , la distribució es caracteritza per una important dispersió. Així, per tal d'evitar la pertorbació de les dades composicionals a causa de processos de contaminació, el tractament estadístic no considerarà, a partir d'ara, les concentracions d'aquests components.

Les dades químiques queden resumides en el dendrograma resultant de l'anàlisi de conglomerats dels 34 individus de Llafranc realitat amb el programa S-Plus 2000 (MathSoft 1999) (Figura 138). En aquesta anàlisi s'ha emprat la distància euclidiana la quadrat, per tal de maximitzar l'efecte dels components que, després de la transformació, més contribueixen a la variabilitat total, i el mètode aglomeratiu del centroide sobre la subcomposició  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ , MnO,  $TiO_2$ , MgO, CaO,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $SiO_2$ , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, utilitzant l' $Al_2O_3$  com a divisor en la transformació de logaritmes de raó. En aquest dendrograma es desprèn l'existència de tres grups químics diferenciats. A l'esquerra hi apareix un individu aïllat (LLA007) el qual es fusiona amb la resta del conjunt de Llafranc a una distància ultramètrica molt elevada (>2.5).

---

<sup>45</sup> Veure Figura 43, apartat 7.2.2.

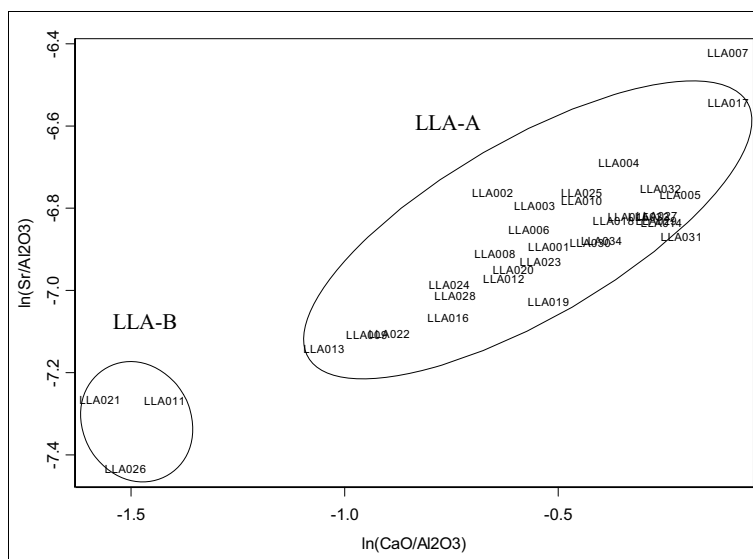


**Figura 138.** Dendrograma resultant de l'anàlisi de conglomerats dels 34 Ic de Llafranc, emprant la distància euclidiana al quadrat i l'algoritme aglomeratiu del centroide sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Y}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Ce}$ ,  $\text{Ga}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Ni}$  i  $\text{Cr}$ , utilitzant l' $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Aquest fet s'explica per les importants diferències composicionals que afecten un nombre elevat d'elements. Concretament, les diferències més significatives són degudes a unes concentracions relatives més baixes en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Y}$ ,  $\text{Ga}$  i  $\text{Zn}$ , i més altes en  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Sr}$ , i  $\text{Cr}$ . A la dreta queden configurades les dues agrupacions principals d'aquest conjunt. Sota el nom de LLA-A queden agrupades la majoria de les àmfores de Llafranc (LLA001, LLA002, LLA003, LLA004, LLA005, LLA006, LLA008, LLA009, LLA010, LLA012, LLA013, LLA014, LLA015, LLA016, LLA017, LLA018, LLA019, LLA020, LLA022, LLA023, LLA024, LLA025, LLA027,

LLA028, LLA029, LLA030, LLA031, LLA032, LLA033, LLA034), mentre que la resta (LLA011, LLA021, LLA026) configuren l'agrupació LLA-B, situada a la dreta del dendrograma. Les principals diferències entre aquestes dues grans agrupacions són degudes a les concentracions relatives en CaO; mentre que els individus que configuren el grup LLA-A tenen uns continguts propis de ceràmiques calcàries, els individus del grup LLA-B representen ceràmiques poc calcàries. En aquest sentit, l'individu aïllat LLA007 també s'ha de considerar una ceràmica calcària (12.14% en CaO, en dades normalitzades). Centrant l'atenció en el grup LLA-A, es pot observar que hi ha dos individus situats a l'esquerra (LLA017 i LLA025) que s'uneixen al grup a una distància ultramètrica lleugerament superior a la de la resta. En el cas de l'individu LLA025, les diferències composicionals que ho expliquen són degudes fonamentalment a unes baixes concentracions relatives en Na<sub>2</sub>O —la segona més baixa de tot el conjunt després de la que presenta l'individu marginal LLA007—, però sobre tot per l'alt contingut relatiu en Ba, part del qual molt probablement sigui degut a una contaminació durant el període d'enterrament. L'individu LLA017 mostra unes diferències composicionals més marcades. En aquest individu destaquen les elevades concentracions de MgO i Sr. El gràfic bivariant dels valors  $\ln(\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3)$  i  $\ln(\text{Sr}/\text{Al}_2\text{O}_3)$  (Figura 139) permet il·lustrar aquesta darrera situació, així com les tendències esmentades sobre el caràcter calcari i poc calcari de tots els individus de Llafranc. En aquesta gràfica els individus queden separats en tres blocs. A la part esquerra hi queden agrupats els tres individus poc calcaris que conformen el grup LLA-B. Més a la dreta hi apareix el grup de ceràmiques calcàries LLA-A, el qual, tal com queda palès en aquest gràfic, no és homogeni pel que fa al contingut en CaO. Aquest fet es podria relacionar, com exposarem en el proper apartat, amb un procés de contaminació de CaO molt probablement durant el període d'enterrament de les ceràmiques que hauria afectat amb diferents intensitats als individus de Llafranc, sense deixar de banda la probable variació en el contingut de plagiòclasi en la matèria primera.



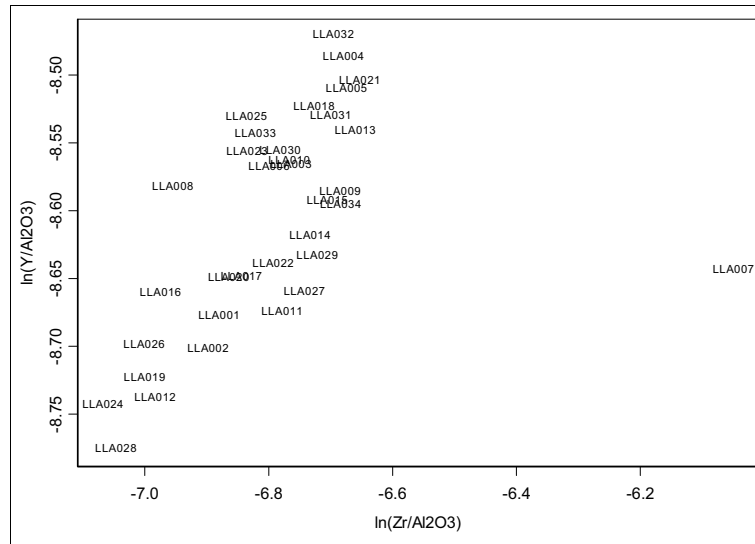


**Figura 139.** Gràfic bivariant dels valors  $\ln(\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ , en abscondes, i  $\ln(\text{Sr}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ , en ordedandes, dels 34 individus procedents del centre productor de Llafranc. Les el·lipsis no corresponen a intervals de probabilitat i sols indiquen la situació de les agrupacions.

A la dreta del gràfic bivariant se situen els individus LLA017 i LLA007, clarament calcaris, però amb valors més elevats en Sr. A més d'aquesta diferència, com ja hem apuntat, l'individu LLA007 presenta importants diferències composicionals respecte la resta que permeten suggerir un origen no local per a aquesta àmfora. El gràfic bivariant dels valors  $\ln(\text{Zr}/\text{Al}_2\text{O}_3)$  i  $\ln(\text{Y}/\text{Al}_2\text{O}_3)$  (Figura 140) mostra clarament la situació allunyada d'aquest individu respecte la resta d'àmfors de Llafranc, en aquest cas concret a causa d'uns continguts relatius molt superiors en Zr.

De fet, les importants diferències composicionals que mostra aquest individu respecte la resta mediatitza la variabilitat observada en aquest conjunt. Tot amb tot, hem calculat una nova MVC excloent-hi aquest individu, així com els components  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Pb, Cu i CaO, i els alcalinoterreos associats Sr i Ba, els quals podrien estar implicats en diferents processos de contaminació. El resultat (Taula 63, Annex 1) es tradueix amb un descents significatiu de la variabilitat total del conjunt ( $\nu t=0.13850$ ). Tot i això, es pot veure com hi ha fins a 8 components (MnO, MgO,  $\text{Na}_2\text{O}$ , Ce, V, Zn, Ni i Cr) per als quals la variació total de l'estructura de covariància representa menys del 50% dels seus

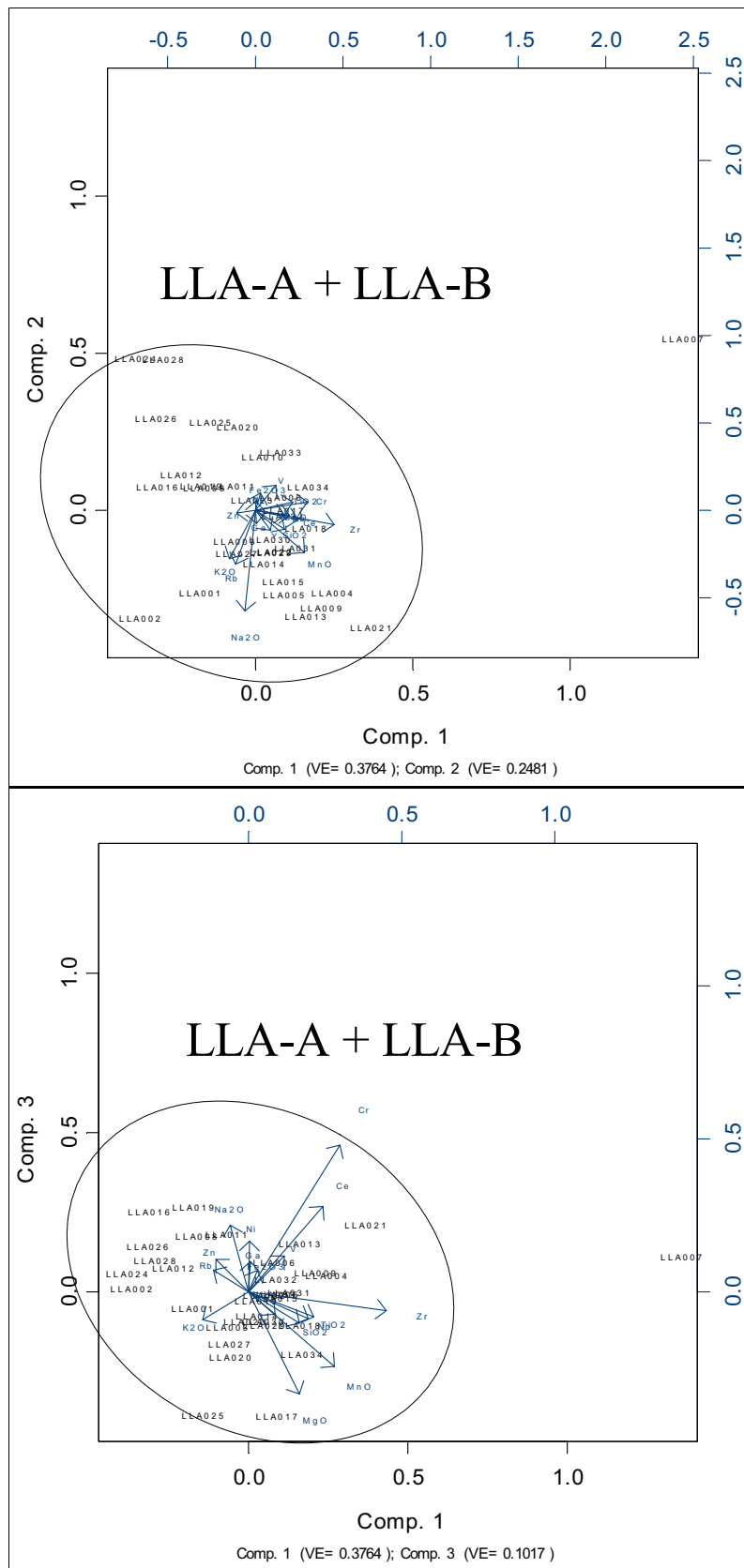
valors, el que en termes estadístics és un reflex de la relativa poca homogeneïtat en la composició dels individus.



**Figura 140.** Gràfic bivariant dels valors  $\ln(\text{Zr}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ , en abscisses, i  $\ln(\text{Y}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ , en ordedandes, dels 34 individus procedents del centre productor de Llafranc.

Finalment, una anàlisi de components principals (ACP) sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Y}$ ,  $\text{Ce}$ ,  $\text{Ga}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Ni}$  i  $\text{Cr}$ , utilitzant l' $\text{Al}_2\text{O}_3$  com a divisor i treballant sobre la matriu de variàncies-covariàncies sense rotació dels eixos, permet mostrar que les diferències que millor discriminen els grups LLA-A i LLA-B són explicades pels components  $\text{CaO}$ ,  $\text{Ba}$  i  $\text{Sr}$ . Com es pot veure en els biplots resultants de l'ACP (Figura 141, superior i inferior), un cop extrets aquests components les dues agrupacions queden diluïdes en una de sola, mentre que l'individu LLA007 es manté en una situació marginal amb una puntuació extrema en ambdós gràfics. Tanmateix, a partir del biplot dels dos primers components principals, el qual recull el 62.45% de la variabilitat original, és aparent que continua existint una relativa dispersió entre el conjunt dels individus a causa de les variacions en  $\text{Zr}$ ,  $\text{Cr}$  i  $\text{MnO}$ , components que estan associats positivament amb el primer component principal (Comp.1), així com del  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Rb}$  i  $\text{K}_2\text{O}$ , els quals mostren una correlació

negativa amb el segon component principal (Comp.2).



**Figura 141.** Biplot resultant de l'anàlisi de components principals sobre la subcomposició Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, TiO<sub>2</sub>, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, Rb, Nb, Zr, Y, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr emprant l'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> com a divisor. Superior: el component principal 1 (en absccisses) i el component principal 2 (en ordenades). Inferior: el component principal 1 (en absccisses) i el component principal 3 (en ordenades).

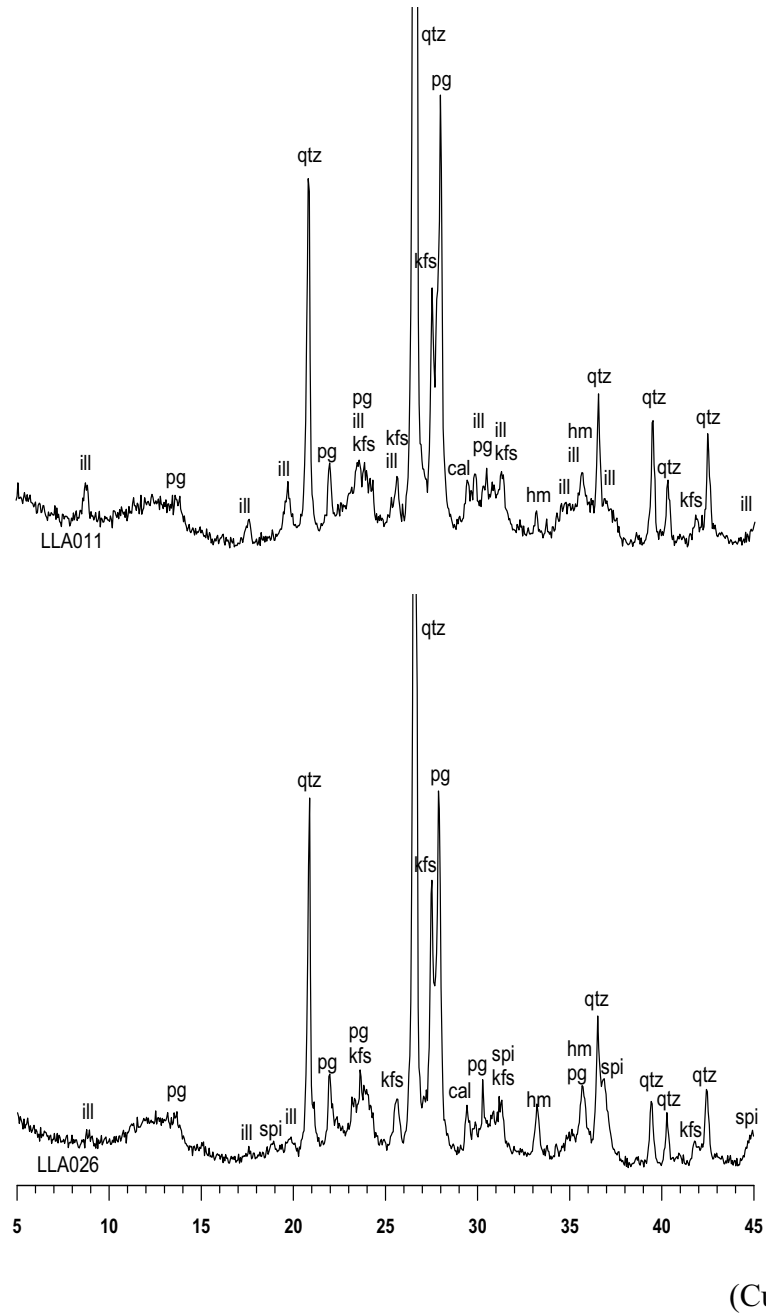
En definitiva, l'estudi de les dades químiques permet definir dos grups de referència per al conjunt documentat a Llafranc (LLA-A i LLA-B) (Taula 64, Annex 1). Com també succeïa en el cas anterior del Collet de Sant Antoni de Calonge, junt als dos grans grups definits s'ha constatat la presència d'un individu (LLA007) les diferències composicionals del qual permeten un suggerir un origen al·lòcton a aquest centre. La mitjana aritmètica i la corresponent desviació estàndard de les concentracions elementals de cada grup, així com la composició de l'individu LLA007 es presenta en la Taula 65 (Annex 1). No obstant, i a diferència del cas anterior, no s'ha identificat cap pasta procedent dels sis centres productors caracteritzats que sigui compatible amb la composició d'aquest individu.

### 8.7.2 Caracterització mineralògica

L'estudi dels difractogrames dels 34 individus de Llafranc ens permet establir les fàbriques característiques de cada grup de referència definit a través de la caracterització química (LLA-A i LLA-B) i proposar unes Temperatures de Cocció Equivalents (TCE) per a cada fàbrica (Taula 66, Annex 1).

Els difractogrames corresponents als individus definits dins del grup poc calcari (LLA-B) permeten agrupar-los en dues fàbriques diferents. La primera fàbrica LLA-BI representa la TCE més baixa. Aquesta fàbrica només està representada per un individu (LLA011). En el seu difractograma (Figura 142, superior) es poden observar encara la presència de pics clars d'il·lita-moscovita, així com de quars, feldspat potàssic, plagiòclasi i hematites. La presència d'aquesta darrera fase pot deure's bé a la seva existència com a fase primària abans de la cocció, bé al seu desenvolupament durant aquesta gràcies al caràcter poc calcari de la pasta. En qualsevol cas la seva presència justificaria la coloració vermellova d'aquest individu, observable macroscòpicament a ull nu. La TCE que es pot estimar per a aquesta fàbrica és inferior als 850-900°C. Els altres dos individus (LLA021 i LLA026) formen la fàbrica LLA-BII. En aquesta fàbrica estan presents els pics d'il·lita-moscovita, quars, calcita, plagiòclasi, feldspats potàssic, hematites i espinel·la (Figura 142, inferior). Tanmateix, la fase primària de l'il·lita-moscovita ha iniciat la seva descomposició a causa d'una major TCE, fet observable en la menor intensitat dels pics d'aquesta fase. A més, cal destacar la presència dels pics

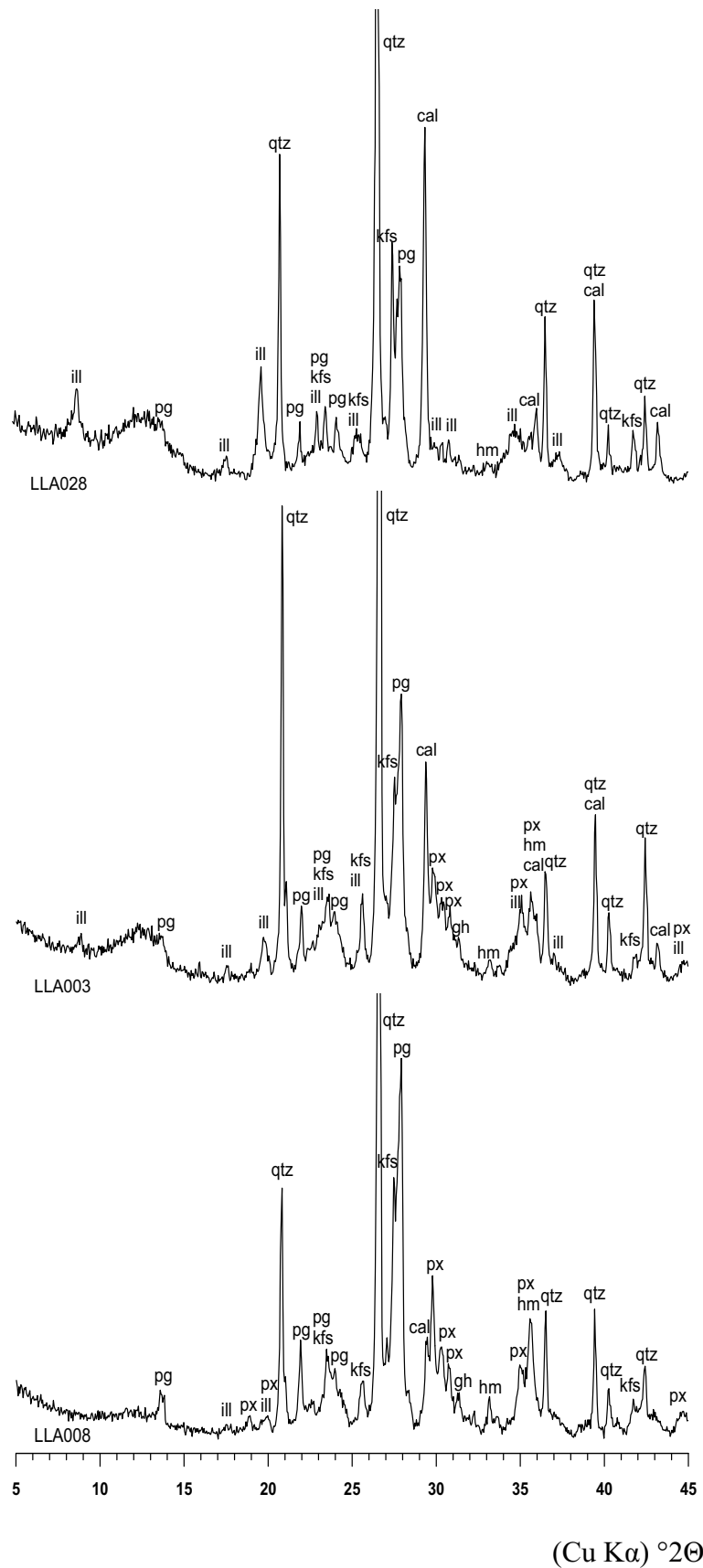
d'espinel·la, fase de cocció habitual en ceràmiques poc calcàries cuites en atmosfera predominantment oxidant (Maggetti 1981). Aquest fet, a més, podria justificar la tonalitat més obscura del color vermell que presenten aquests individus. Per tot això podem estimar una TCE major respecta de l'anterior fàbrica, entre 900-950/1000°C.



**Figura 142.** Difractogrames representatius de les fàbriques LLA-BI (superior) i LLA-BII (inferior). **cal**=calcita; **hm**=hematites; **ill**=il·lita-mocovita; **kfs**=feldspat potàssic; **pg**=plagiòclasi; **qtz**=quars; **spi**=espinel·la.

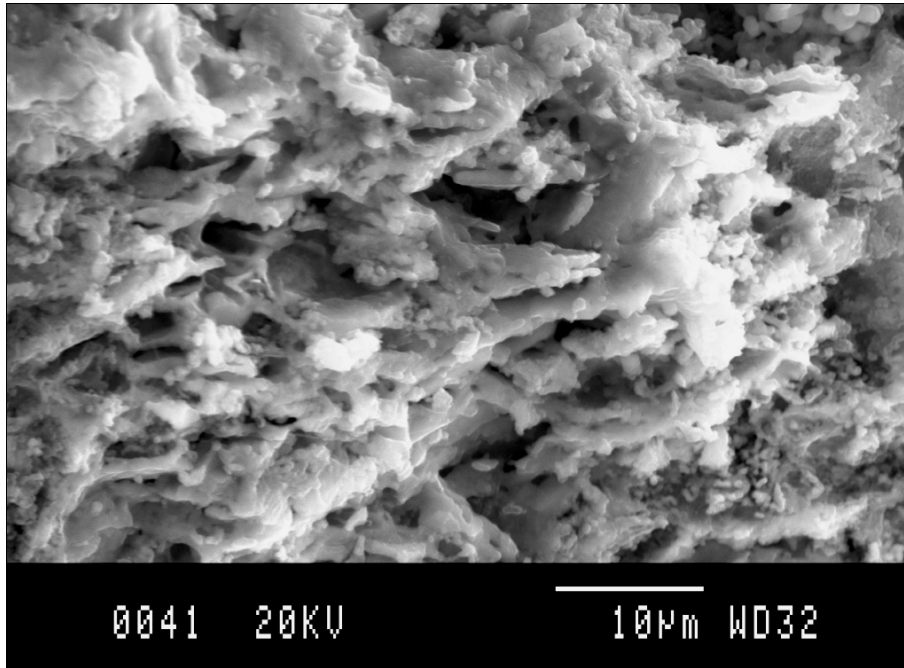
Els difractogrames dels individus que conformen el grup calcari de Llafranc (LLA-A) permeten agrupar-los en cinc fàbriques diferents (LLA-AI, LLA-AII, LLA-AIII, LLA-AIV i LLA-AV). En la fàbrica LLA-AI podem agrupar els individus LLA017, LLA024 i LLA028. En els difractogrames d'aquests individus s'hi observa la presència de pics clars d'il·lita-moscovita, així com de quars, calcita, plagiòclasi, feldspat potàssic i pics febles d'hematites (Figura 143, superior). La cristallització d'aquest mineral com a fase de cocció en ceràmiques calcàries s'observa normalment a partir de 750-850°C (Buxeda 1999; Maniatis *et al.* 1981). Aquest fet, junt a la presència en tots els casos de pics ben desenvolupats d'il·lita i de calcita, assumint que les fases suara esmentades siguin fases primàries, permetria estimar per a aquesta fàbrica una TCE molt probablement inferior als 850°C. A més, és important remarcar el fet que els individus que formen aquesta fàbrica són els que presenten una major Pèrdua Al Foc (PAF) (entre 7.50% i 10.70%, en dades normalitzades). La baixa TCE d'aquesta fàbrica, junt al caràcter calcari de la pasta, justificaria la coloració clara que presenten aquests individus. L'observació de la seva microestructura i de l'estadi de sinterització per microscòpia electrònica de rastreig (MER) corrobora aquests resultats, ja que la matriu no exhibeix la formació de vitrificació, excepte en petits punts aïllats. L'estadi de sinterització es pot doncs estimar com de no vitrificació-vitrificació inicial (Figura 144), podent-se estimar una TCE inferior a 800°C, que seria consistent amb la proporcionada per la DRX.

La fàbrica LLA-AII està formada pels individus LLA003, LLA004, LLA006, LLA0010, LLA0018, LLA020, LLA022, LLA023, LLA029, LLA032 i LLA034. Els difractogrames d'aquests individus mostren pics d'il·lita-moscovita, quars, feldspat potàssic, plagiòclasi, calcita, hematites, piroxens i gehlenita (Figura 143, mig). En aquesta fàbrica les fases que consideram primàries han patit clares transformacions a causa d'un augment de la temperatura. En aquest cas els pics de les il·lites presenten una menor intensitat respecte de la fàbrica anterior. Així mateix la descomposició de la calcita amb l'augment de temperatura es manifesta amb la disminució d'intensitat dels seus pics, fet que s'acompanya per la formació de piroxens i gehlenita. La TCE estimada per a aquesta fàbrica és de 850-950°C.



**Figura 143.** Difractogrames representatius de les fàbriques LLA-AI (superior), LLA-AII (mig) i LLA-AIII (inferior). **cal**=calcita; **gh**=gehlenita; **hm**=hematites; **ill**=il·lita-mocovita; **kfs**=feldspat potàssic; **pg**=plagiòclasi; **px**=piroxè; **qtz**=quars.



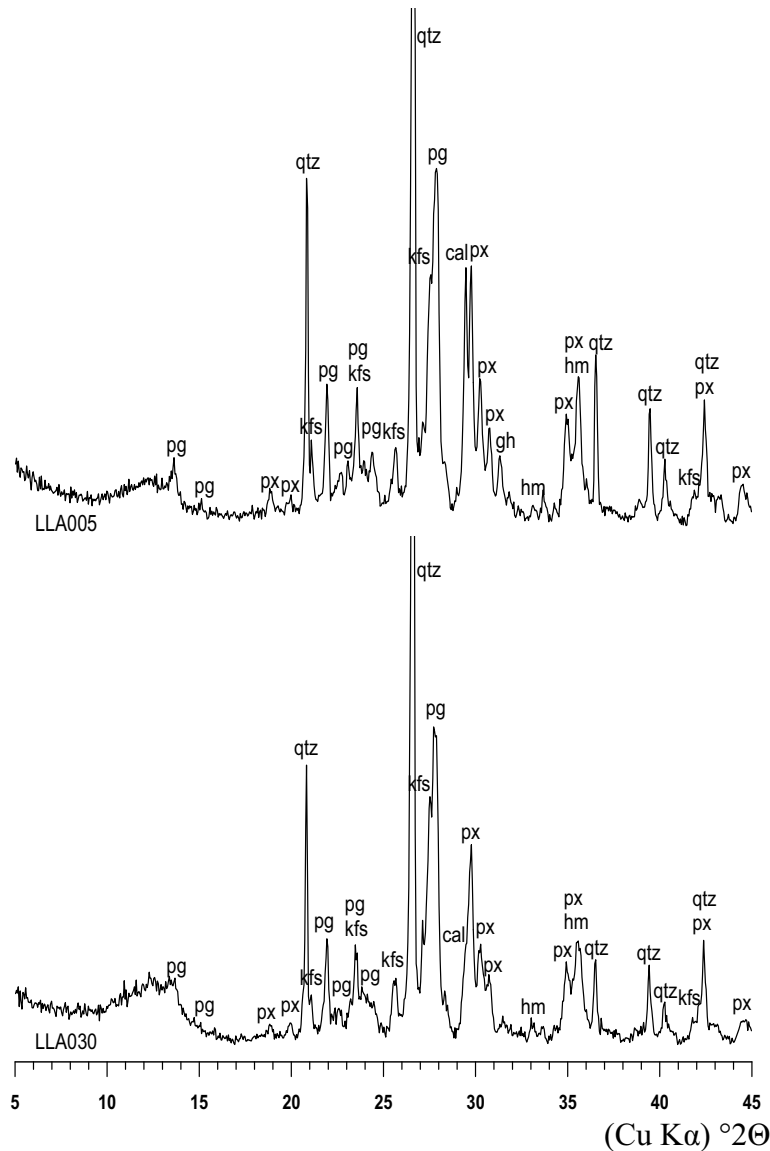


**Figura 144.** Microfotografia realitzada per MER a 2000X sobre la matriu de l'individu LLA028

La fàbrica LLA-AIII està formada pels individus LLA008, LLA025, LLA027 i LLA033. Així mateix, l'individu LLA007 és compatible amb l'associació de fases característica d'aquesta fàbrica. Les difraccions mostren la desaparició del pic de  $10\text{\AA}$  ( $8.83^\circ 2\theta$ ) de la il·lita-moscovita, així com un major desenvolupament dels piroxens i de la gehlenita (Figura 143, inferior). En aquest cas cal estimar una TCE en el rang 950-1000°C. Tanmateix, la presència de pics de calcita seria incompatible amb la TCE proposada. Ara bé, la seva presència en aquesta fàbrica, així com en les següents fàbriques de temperatures superiors, es deu bé a que no ha tingut temps per dissociar-se completament, tot i assolir unes altes temperatures, o bé a que el seu origen és secundari (Cau *et al.* 2002).

La fàbrica LLA-AIV agrupa els individus LLA001, LLA005, LLA009, LLA012,

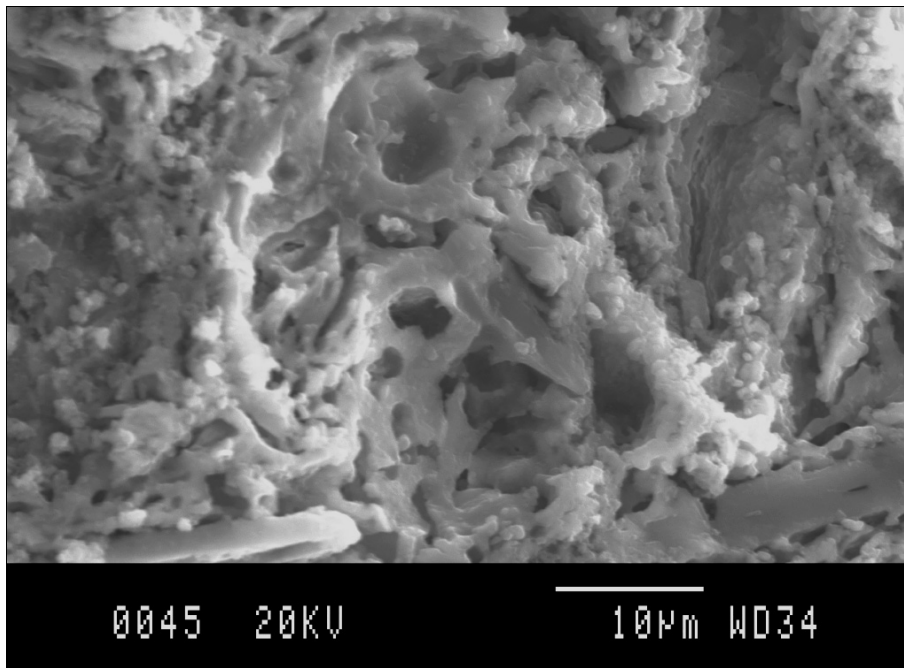
LLA013, LLA014, LLA015, LLA016, LLA019 i LLA031. Els difractogrames d'aquests individus mostren ja la total dissociació de la il·lita-moscovita, amb el manteniment de la resta de fases (Figura 145, superior). La TCE d'aquesta fàbrica es pot estimar en el rang 1000-1050°C.



**Figura 145.** Diffractogrames representatius de les fàbriques LLA-AIV (superior) i LLA-AV (inferior). **cal**=calcita; **gh**=gehlenita; **hm**=hematites; **kfs**=feldspat potàssic; **pg**=plagiòclasi; **px**=piroxè; **qtz**=quars.

En darrer lloc, la fàbrica LLA-AV inclou els individus LLA002 i LLA030. En aquesta fàbrica cal remarcar la desaparició ja de la gehlenita (Figura 145, inferior), fase

metaestable que es forma a altes temperatures en les coccions de ceràmiques calcàries. Amb l'augment de la temperatura de cocció aproximadament per sobre dels 1050°C, és freqüent que aquesta fase es descomposi completament. Tot amb tot, la TCE estimada per a aquesta fàbrica és superior als 1050°C. Per la seva banda, l'observació per MER de la microestructura i de l'estadi de sinterització de l'individu LLA030 mostra (Figura 146) un estadi de vitrificació continuada avançada que suggereix una TCE en el rang 1050-1080°C. Aquesta estimació corrobora, un altre cop, les TCE proposades a partir de la DRX, confirmant l'evolució de les temperatures de cocció.



**Figura 146.** Microfotografia realitzada per MER a 2000X sobre la matriu de l'individu LLA030.

### 8.7.3 Conclusions

La caracterització química dels individus de Llafranc ha permès definir una producció a partir de pastes calcàries (LLA-A) i una altre a partir de pastes poc calcàries (LLA-B), així com un individu (LLA007) que representaria molt probablement una pasta produïda

en un centre productor diferent. Malauradament, a partir de les dades exposades fins el moment no es pot suggerir cap provinença compatible amb la composició d'aquest individu.

Des del punt de vista tecnològic s'observa que, per a les dues grans agrupacions, les TCE estimades presenten una ampla variabilitat, d'esperar en centres productors, on resten tot tipus d'individus, inclosos aquells amb coccions a temperatures excessivament baixes o altes per a entrar en els circuits comercials. Malgrat tot, sembla identificar-se una tendència a emprar coccions al voltant dels 950-1000°C, que sembla ser el rang de temperatures més freqüent entre les àmfores romanes produïdes a partir de pastes calcàries.

El grup calcari LLA-A inclou la major part de les àmfores Pascual 1, així com els 4 individus Dressel 7-11, malgrat que un d'ells (LLA013) presenta unes concentracions de CaO en el límit de les ceràmiques calcàries i poc calcàries, i un altre (LLA022) lleugerament superiors a aquest límit. Per contra, el grup LLA-B, molt menor, només inclou àmfores Pascual 1. Aquests resultats contradiuen les hipòtesis inicials de poder identificar un únic grup de referència per aquest centre productor, o d'identificar un grup per a cada tipus amforal produït. Tot i que s'ha constatat una diferenciació en el caràcter poc calcari o calcari de les pastes, amb evidents implicacions tecnològiques, aquesta no correspon a possibles tecnologies associades als tipus d'àmfores, però tampoc a diferències cronològiques, d'acord amb la procedència dels individus inclosos a cada grup. Tanmateix, és important remarcar que una part dels continguts en CaO semblen deure's a contaminacions que s'haurien produït durant el període d'enterrament de les ceràmiques. La identificació de la calcita secundària haurà d'incloure diferents metodologies a les implementades en aquest treball (Buxeda i Cau 1995).

Finalment, aquest estudi mostra també l'efecte que pot tenir el contingut en CaO en la coloració de les ceràmiques. El color d'una ceràmica arqueològica no només és el resultat de la matèria primera emprada en la seva fabricació, sinó que és conseqüència d'una conjunció de factors, des d'aspectes tecnològics (atmosferes i temperatures de coccio) fins a possibles pertorbacions posteriors que hagin afectat la seva composició original. La divisió entre ceràmiques calcàries i poc calcàries a Llafranc mostra com,

junt a les diferències en la temperatura de cocció, una mateixa producció pot donar com a resultat una diversitat de pastes des del punt de vista de l'observació macroscòpica a ull nu (Figura 147). En cas que aquestes peces es documentessin en un centre receptor, l'atribució d'una provinença a partir del color de les pastes portaria a l'error d'interpretar com a produccions diferents allò que respon a un model de transformacions mineralògiques durant la cocció d'una mateixa producció i, per tant, d'una mateixa provinença.



LLA-B



LLA-A

**Figura 147.** Canvis en la coloració de les pastes de Llafranc. **Superior:** D'esquerra a dreta els individus poc calcaris LLA011 (fàbrica LLA-BI) i LLA026 (fàbrica LLA-BII). **Inferior:** D'esquerra a dreta els individus calcaris LLA028 (fàbrica LLA-AI), LLA022 (fàbrica LLA-AII) i LLA030 (fàbrica LLA-AV).



# CAPÍTOL 9

---

## SIMULACIÓ DE CÀRREGUES (AEF)

### 9.1 Preliminar

**E**l model proposat per a l'estudi del canvi tecnològic en dissenys amforals posa especial èmfasi en la necessitat de diferenciar les propietats físiques del material amb què es va fabricar l'artefacte de les competències o capacitats específiques que li són atorgades en el context d'una seqüència conductual. En el primer cas, l'estudi requereix la caracterització del material sense la necessitat de considerar les activitats posteriors a la manufactura. En canvi, l'avaluació de les competències d'un artefacte i, en conseqüència, la interpretació del compromís que modela la seva configuració requereix necessàriament la seva consideració en el context d'una determinada activitat o interacció específica.

Certament, el disseny de qualsevol objecte pot ser modificat per tal de satisfer un ampli ventall de necessitats si bé, en el cas concret d'una àmfora, no es pot deixar de banda que es tracta d'una ceràmica utilitària i que, per tant, el seu disseny i la seva manufactura haurien de complir amb uns requisits tècnics bàsics. Aquests requisits afecten, entre d'altres, a la seva capacitat de suportar les pressions exercides pel seu contingut sobre les parets de l'envàs, així com els impactes fortuïts que es produeixen



durant el seu ús, molt especialment al llarg del transport marítim.

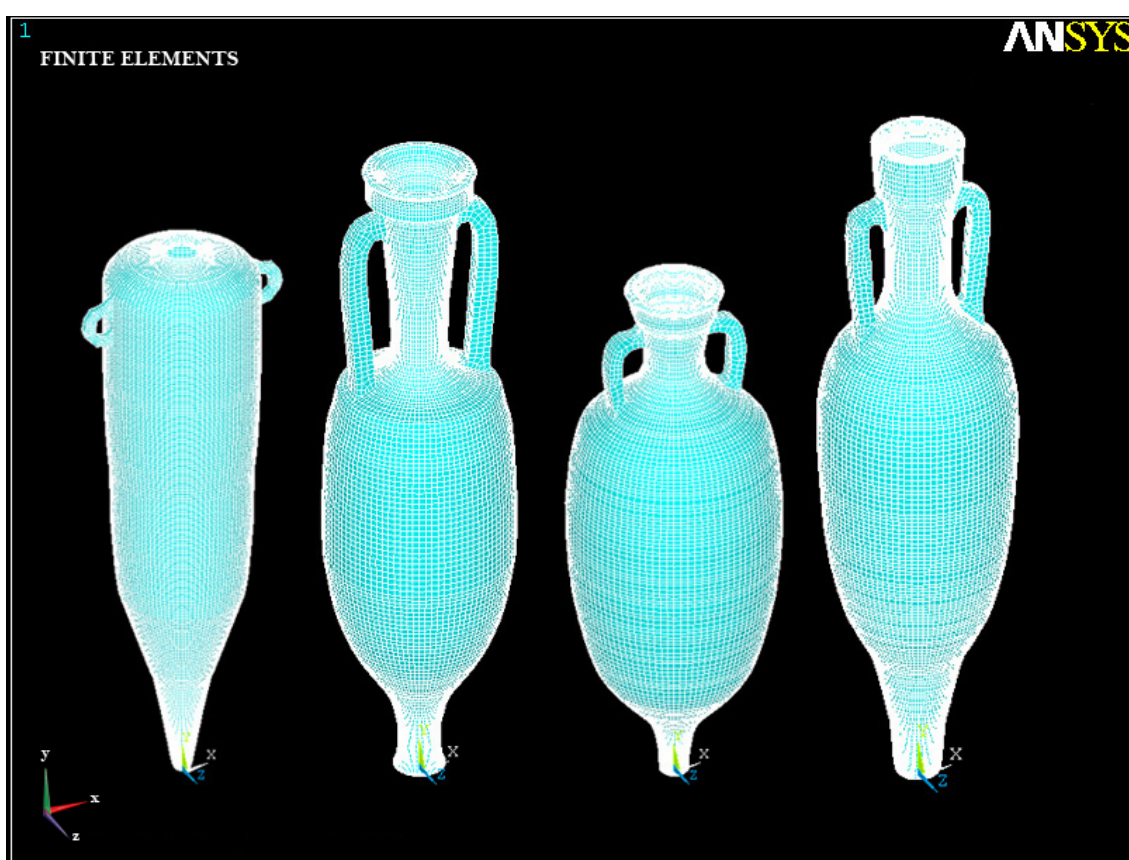
En aquest capítol es centra l'atenció en la funcionalitat tècnica d'una àmfora, concretament en el seu rendiment com a envàs de transport, per tal de valorar les possibles implicacions tècniques dels canvis de disseny de les primeres àmfores romanes produïdes a Catalunya. Com ja hem argumentat, les diferents propietats que han de satisfer les ceràmiques des del punt de vista tècnic es poden aconseguir a través de la modificació de la pasta argilosa i mitjançant la tecnologia de cocció. Tanmateix, aquests dos paràmetres, la recepta d'una pasta argilosa i la seva cocció, no són més que una part del que condiciona el comportament tècnic d'una ceràmica, i en cap cas esgoten les característiques necessàries per valorar la resposta d'un envàs en el context d'una interacció específica. La mida, el gruix de les parets i la forma de la peça ceràmica, especialment els seus angles i curvatures, són variables crítiques en el seu rendiment. En conseqüència, àmfores produïdes amb les mateixes pastes però amb diferent disseny es comportaran de manera diferent sota unes mateixes condicions.

En aquest capítol s'implementa una anàlisi d'elements finits (AEF) amb l'objectiu de simular el comportament físic i mecànic d'un disseny ceràmic quan li són aplicades diferents forces i, per tant, predir el moment crític en què es produiria una fractura. Així, mitjançant l'AEF és possible simular el comportament d'una àmfora durant la seva utilització, trobant les condicions que provocarien el seu trencament. Com hem exposat a l'apartat 6.7, l'aplicació d'aquest mètode requereix d'una representació gràfica del disseny ceràmic, així com de les propietats mecàniques bàsiques del material en estudi. Amb aquestes dades es crea un model virtual tridimensional de la ceràmica al qual, mitjançant una simulació per ordinador, s'apliquen diferents forces per tal d'avaluar-ne el seu comportament tècnic.

Concretament, l'estudi es centra en els tres primers dissenys d'àmfora romana que són objecte d'aquesta tesi: Dressel 1, Laietana 1/Tarraconense 1 i Pascual 1. Ara bé, el canvi en el disseny de les àmfores romanes només és una part de la història. Aquestes àmfores per la seva banda substitueixen als tipus amforals ibèrics produïts en aquests territoris i distribuïts arreu de la Mediterrània fins al final de la segona guerra púnica (Tsantini 2007). Es tracta, doncs, d'un doble procés de canvi. D'una banda els tipus romans substitueixen als dissenys ibèrics precedents de clara tradició púnica i, d'altra,

es produeix una aparent substitució diacrònica entre els mateixos tipus amforals romans. És per això que, per tal d'ampliar la perspectiva de l'estudi hem implementat l'AEF als tres dissenys romans (Dressel 1, Laietanan1/Tarraconense 1, Pascual 1), així com a un disseny representatiu de les àmfores Ibèriques precedents (Figura 148)

El procediment metodològic de l'Anàlisi d'Elements Finitos (AEF) segueix les consideracions exposades a l'apartat 6.7.



**Figura 148.** Models tridimensionals d'elements finits. D'esquerra a dreta: Àmfora Ibèrica, Dressel 1, Laietana 1/Tarraconense 1, Pascual 1.

## 9.2 Identificació de les càrregues

El rendiment tècnic d'una àmfora depèn de la seva capacitat per superar satisfactòriament el conjunt de forces que rep al llarg del seu ús com a envàs de transport. Aquesta adequació no degué passar inadvertida pels actors involucrats en les

interaccions específiques d'aquests envasos ja que la fallida d'una àmfora podria significar la pèrdua del seu contingut i, per tant, el fracàs de la inversió realitzada.

Així doncs, la qüestió que ens plantejem, i que és la gènesi d'aquest treball, és si els diferents dissenys amforals compleixen de la mateixa manera aquests requeriments tècnics, més concretament, si els diferents dissenys responen d'igual manera a unes mateixes condicions d'ús.

Durant la seva utilització com a envàs de transport, una àmfora es troba sotmesa a un seguit de forces de distints tipus i magnituds. La primera correspondria a la pressió que provoca el seu propi contingut contra les parets de l'envàs. Així doncs, el primer requeriment tècnic que ha de complir una àmfora és suportar el seu propi contingut sense trencar-se.

Posteriorment, les àmfores plenes serien transportades fins a un vaixell, estibades i transportades fins el lloc de destinació, descarregades del vaixell i, possiblement, transportades a una destinació final (Peña 2007). És precisament al llarg de tota aquesta etapa de transport quan es produirien els moments més crítics des del punt de vista tècnic. D'una banda, les nanses haurien de resistir les forces que es generen quan els envasos plens són aixecats. D'altra banda, un cop estibades en el vaixell, les àmfores haurien de suportar tot un seguit de pressions fortuïtes provocades pel contacte lateral d'unes amb les altres i, en cas de ser estibades en més d'un pis, pel contacte d'unes sobre les altres. A més, és important tenir present que, durant el transport, aquestes pressions podrien arribar a ser més severes a causa de les sacsejades que l'onatge podria provocar al vaixell.

Un cop identificades les forces que podrien afectar a les àmfores durant el seu transport, s'han de valorar els efectes que aquestes forces tindrien sobre el material ceràmic. En el cas de dues àmfores estibades i en contacte lateral constant, és d'esperar que el rendiment sigui diferent per a una àmfora ben cuita que per a una altra que hagi estat cuita a baixa temperatura. Així doncs, per avaluar tècnicament el disseny d'una àmfora és necessari, en primer lloc, caracteritzar el material amb què va ser fabricada. La caracterització ha de descriure la manera en què la ceràmica es comporta, en termes físics i mecànics, quan és sotmesa a les forces descrites anteriorment. En aquest cas, l'aproximació més adient per a aquesta caracterització és la proporcionada per la

ciència dels materials mitjançant l'estudi de les propietats mecàniques (Kilikoglou i Vekinis 2002) i que ha estat implementat al llarg de l'apartat 7.4.

Des del punt de vista mecànic, la ceràmica es considera com un material fràgil i que, per tant, es fractura amb facilitat. Aquesta definició s'adequa plenament a la nostra experiència quotidiana. La recuperació d'una peça ceràmica sencera en un jaciment terrestre és certament una excepció, ja que normalment el que es recuperen són nombrosos fragments de mides diverses. Però, quins són els mecanismes que governen la fractura d'una ceràmica? L'aparició d'una fractura requereix, en primer lloc, de l'aplicació d'una força, ja sigui una força de tensió, una pressió o una compressió. Pel tema ens ocupa, la força que millor descriu el que li succeeix a una àmfora quan és alçada per les nanses o quan està en contacte amb altres envasos durant el transport és la força de tensió en flexió estàtica (Kilikoglou i Vekinis 2002). En ser sotmesa a aquest tipus de força, la ceràmica pateix el que s'anomena una deformació elàstica, és a dir, una deformació que desapareix en el moment en què la força deixa d'actuar. Seria un fenomen similar al que succeeix quan estirem una goma elàstica, si bé en el cas de la ceràmica, la deformació es produeix a molt petita escala (de l'ordre de 150-250  $\mu\text{m}$ , en el cas de les àmfores en estudi, és a dir, de l'ordre de 0.15-0.25 mm) i en cap cas observable a simple vista. De la mateixa manera com succeeix amb la goma elàstica, quan la força aplicada a la ceràmica sobrepassa un determinat límit, la deformació esdevé irreversible i comencen a aparèixer les fractures. En la nostra experiència quotidiana, com que la deformació de la ceràmica no és observable a simple vista, el que veiem és únicament l'aparició de la fractura. En tot cas, l'aparició d'una fractura no comporta necessàriament el trencament complet de la ceràmica, ja que hi ha altres paràmetres que també hi juguen un paper important. Les característiques de la seva microestructura, és a dir, a part de la seva composició mineralògica, la quantitat i mida de les inclusions no plàstiques (desgreixador natural o afegit en la preparació de la pasta argilosa), el tipus d'inclusions de què es tracta (quars, calcita, xamota), la porositat i les condicions de la seva cocció, són paràmetres que governaran la propagació d'aquesta fractura. En funció d'aquests paràmetres la fractura iniciada es propagarà més o menys. Si aquesta fractura no es propaga tindriem únicament l'aparició d'una esquerda. La variació de tots els paràmetres que governen l'aparició i propagació de les fractures

dóna com a resultat materials ceràmics amb diferents comportaments mecànics i, per tant, amb diferents propietats mecàniques.

Ara bé, les propietats mecàniques dels materials no es donen en abstracte, sinó que es concreten en una determinada forma: el seu disseny. El comportament tècnic d'un envàs, tot i que està condicionat per les propietats del material amb què es va produir, no pot ser correctament avaluat simplement amb el càlcul d'aquestes propietats. La geometria específica de l'àmfora (la seva mida i forma) juga un paper molt important a l'hora d'avaluar-ne el rendiment com a envàs de transport. La presència de certes geometries en un disseny poden afavorir l'aparició de punts que concentren de manera excessiva l'estrès que apareix en aplicar una força. És més, una determinada geometria pot ser la responsable per sí mateixa de la fallida d'un disseny, encara que les propietats dels materials puguin ésser les adients. Així doncs, un cop calculades, les propietats del material han de ser avaluades prenent en consideració la forma específica de l'àmfora i les forces implicades en les interaccions.

Per a realitzar una primera aproximació a les competències tècniques dels diferents envasos, han estat simulades les mateixes activitats sobre els quatre tipus (àmfora Ibèrica, Dressel 1, Laietanani/Tarraconense 1, Pascual 1). Donat que la intenció és avaluar exclusivament la influència del disseny en el comportament mecànic de les àmfores, s'han mantingut constats tant les forces aplicades com les propietats físiques de la ceràmica. És a dir, la única variable que canvia és la forma de l'àmfora. O dit amb altres paraules, és com si la simulació es realitzés sobre diferents dissenys d'àmfora, però totes produïdes en un mateix taller, amb les mateixes matèries primeres i emprat la mateixa tecnologia de producció. Per tant, no es tracta tant d'avaluar el comportament d'una àmfora concreta sinó d'avaluar el model que representa a cada un dels dissenys.

En aquest cas, les propietats materials que es mantenen constants són el mòdul de Young (15 GPa), la raó de Poisson (0.27) i la densitat de la ceràmica (2000 kg/m<sup>3</sup>). Aquestes característiques deriven dels comportaments mitjans obtinguts en la caracterització prèvia del material ceràmic. En el cas de l'àmfora Ibèrica, les caracteritzacions dels materials ceràmics realitzats per Tsantini (2007) mostren també una bona correlació amb aquests valors i, per tant, es pot considerar correcta la seva

aplicació al model d'AEF.

A partir de procediments experimentals s'ha demostrat que la màxima deformació que pot suportar un material de les característiques esmentades és de 0.09-0.1%<sup>46</sup> (Kilikoglou i Vekinis 2002). Per tant, s'ha d'entendre que les forces que provoquin una deformació superior a aquest límit implicarien el trencament complet de l'envàs. El nombre d'elements finits tridimensionals emprats en la confecció dels dissenys amforals, així com el pes i volum estimat per a cada envàs es presenta en la Taula 67 (Annex 2). Els pesos estimats a partir dels models virtuals mostren una bona correlació amb els d'espècimens reals que han pogut ésser mesurats.

Les forces simulades sobre els quatre models representen algunes de les activitats més habituals en l'ús d'aquestes àmfores:

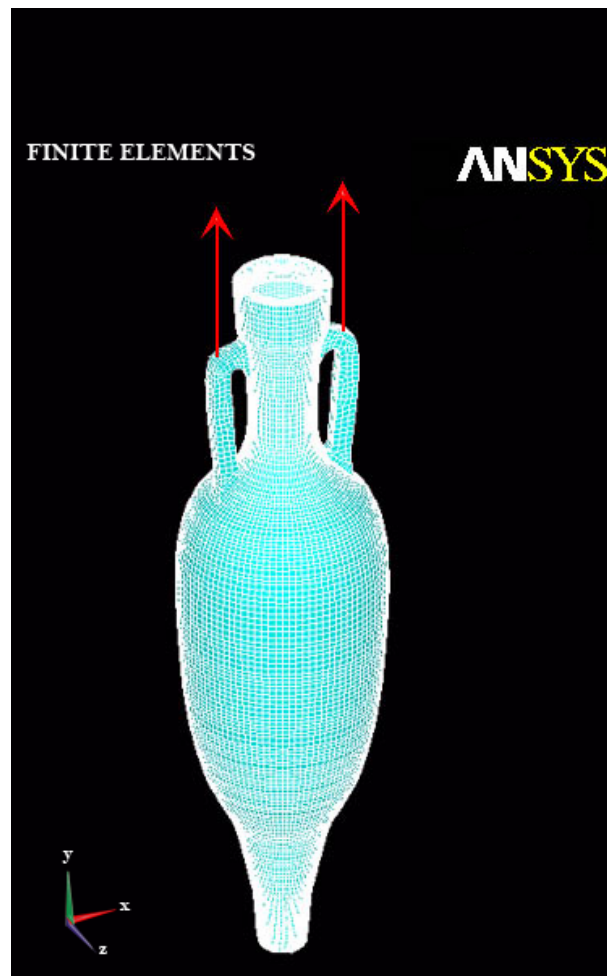
- 1) Alçament per les nanses dels envasos buits.
- 2) Alçament per les nanses dels envasos plens de líquid.
- 3) Aplicació d'una càrrega estàtica en el pivot o base de les àmfores.
- 4) Aplicació d'una càrrega estàtica en quatre punts de l'espatlla de les àmfores.

### **9.3 Simulació I. Alçament per les nanses (envàs buit)**

En primer lloc s'han simulat les forces que es generarien durant l'alçament dels envasos per les nanses. En aquesta simulació s'ha considerat que els envasos estarien buits i que l'alçament s'efectuaria de manera simultània per les dues nanses amb una distribució homogènia del seu pes (Figura 149). En aquest cas les forces simulades equivalen al pes dels envasos (Taula 67, Annex 2).

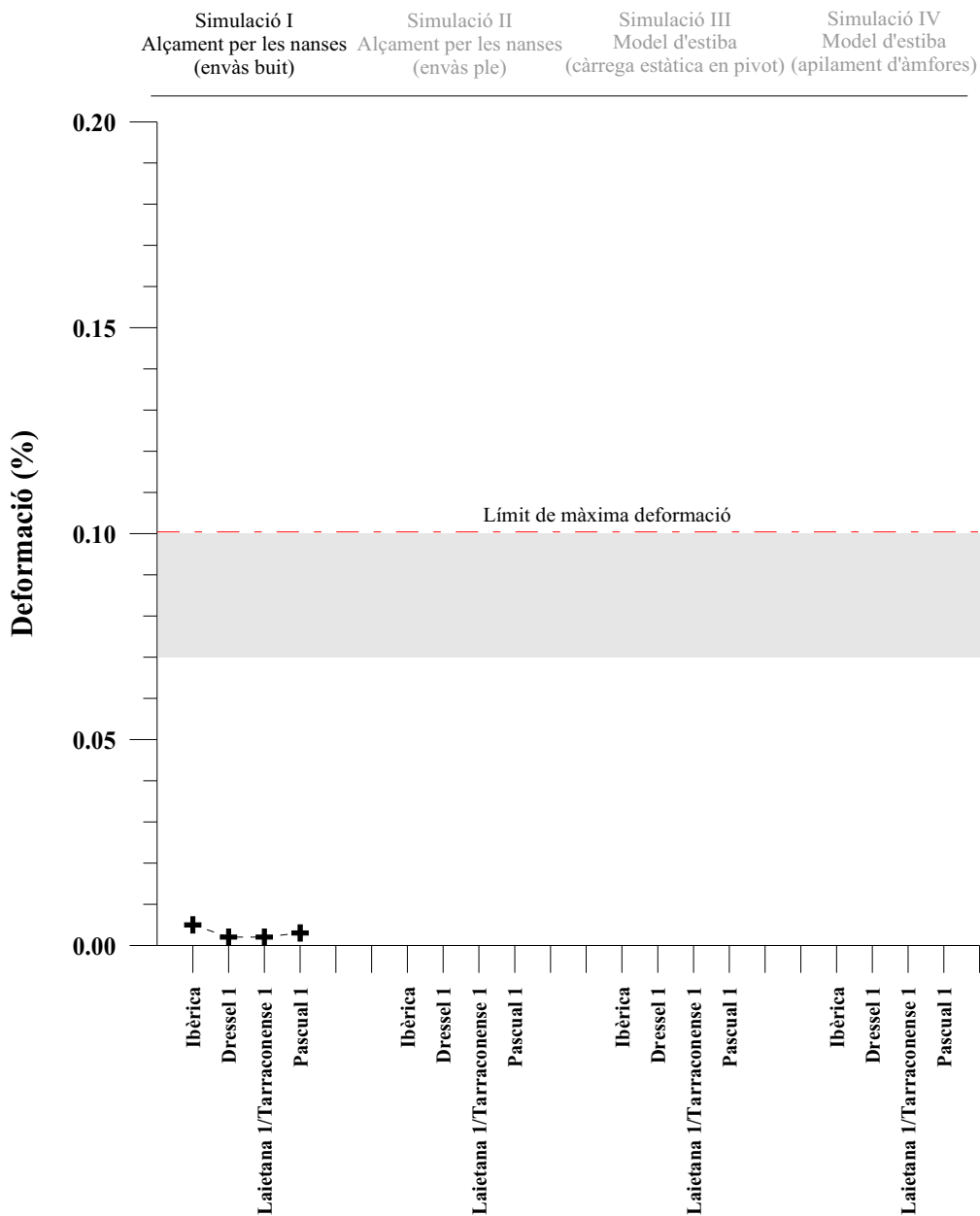
---

<sup>46</sup> Veure apartat 7.4.4.



**Figura 149.** Simulació de l'aplicació de forces als quatre models d'àmfores.

A partir de l'AEF s'ha calculat l'estrès i la corresponent deformació elàstica que es genera en les àmfores en cas d'alçar-les buides de contingut. Els resultats numèrics de la simulació (Taula 68, Annex 2) apareixen il·lustrats en la Figura 150. Pel que respecta la Simulació I, és evident que la màxima deformació experimentada en l'alçament per les nanses no resulta crítica en cap tipus d'àmfora, confirmant uns resultats que eren d'esperar. L'àmfora que patiria una major deformació seria la Ibèrica, per bé que amb una valor màxim (0.005%) situat molt per sota de la línia discontinua que representa el límit establert per les propietats del material i, per tant, lluny de l'aparició d'una fractura. Per la seva banda, les tres àmfores romanes mostren un comportament molt similar, molt allunyat també del perill de trencament.



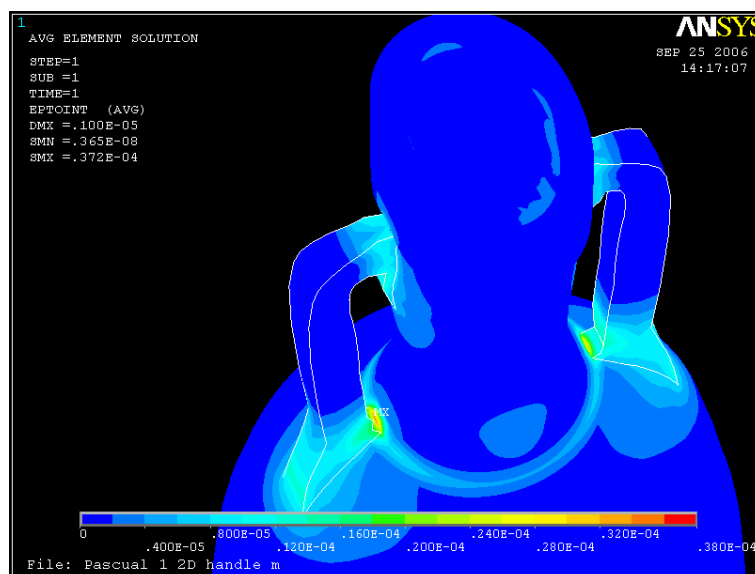
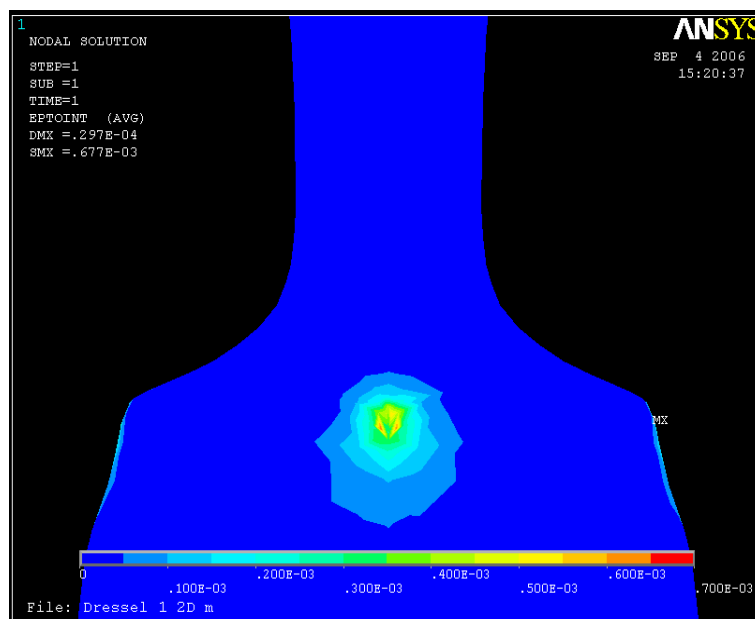
**Figura 150.** Resultats de la simulació mitjançant AEF. La línia discontinua representa el límit de màxima deformació establert per a les propietats del material. Els valors per sobre d'aquesta línia impliquen el trencament complet de l'envàs. L'àrea grisa representa l'interval crític on l'aparició de fractures esdevé altament probable (representa el 70% del límit de màxima deformació).

Els resultats mostren com, en tots tres casos, l'àrea de màxim estrès es troba en els punts d'unió de les nanses i el cos de l'àmfora (el coll i l'espatlla). En la Figura 151 es pot observar l'exemple d'aquesta simulació en el cas dels models de Dressel 1 i



Pascual 1. En aquesta figura es poden observar les zones on es produïrien les majors deformacions en cas d'alçar aquestes àmfors per les nanses.

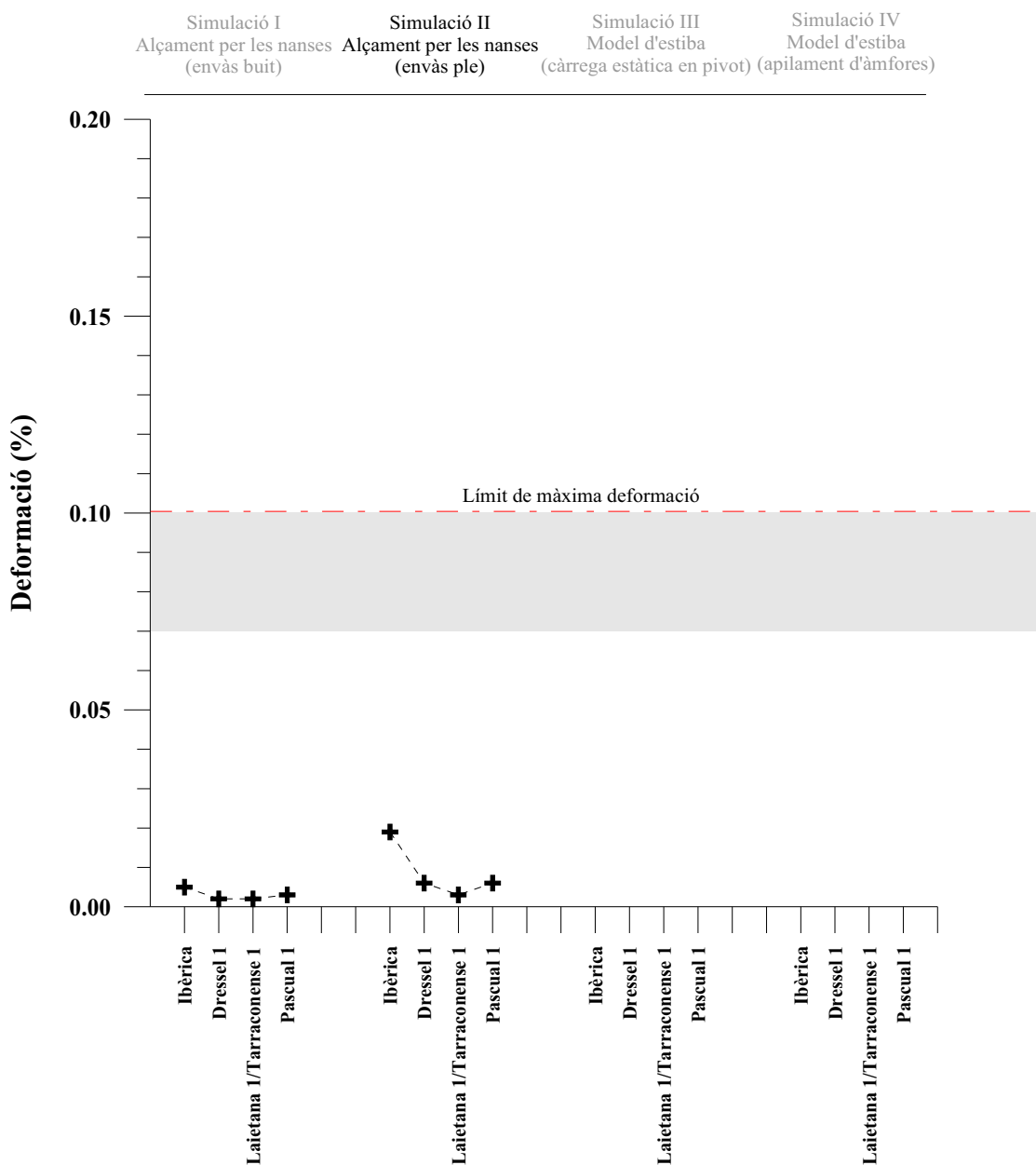
En conclusió, i com era d'esperar, els resultats de la simulació i el càlcul d'AEF demostren que els quatre dissenys d'àmfora considerats podrien haver estat alçats per les dues nanses sense que aquesta activitat hagués provocat cap fractura crítica per a la integritat dels envasos.



**Figura 151.** Exemple de la deformació calculada per AEF dels models Dressel 1 (superior) i Pascual 1 (inferior). L'escala cromàtica indica la magnitud de les deformacions. L'àrea de màxima deformació apareix indicada amb MX.

### 9.4 Simulació II. Alçament per les nanses (envàs ple)

Uns resultats similars s'obtenen en el cas de l'alçament de l'àmfora plena. Els resultats numèrics de la simulació II (Taula 69 Annex 2) apareixen il·lustrats en la Figura 152.



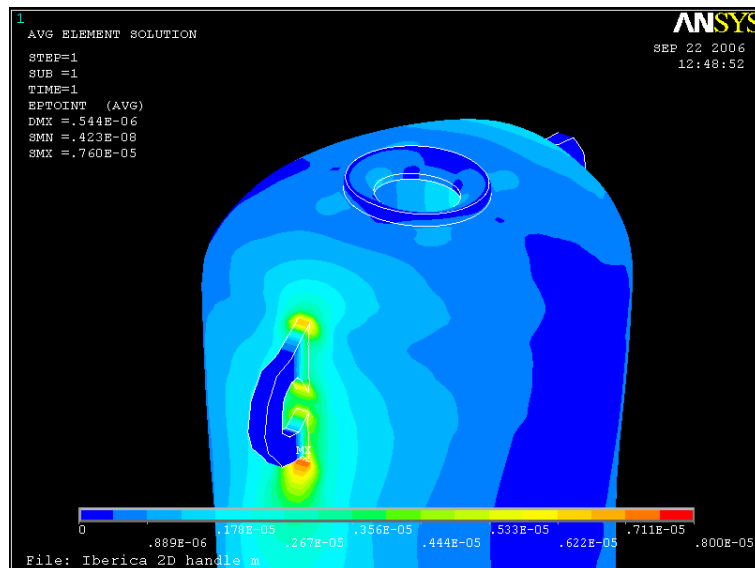
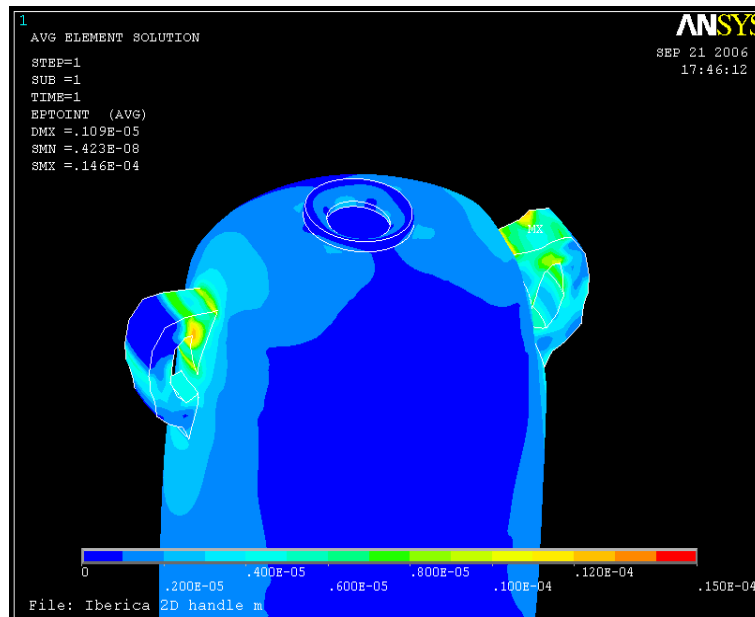
**Figura 152.** Resultats de la simulació mitjançant AEF. La línia discontinua representa el límit de màxima deformació establert per a les propietats del material. Els valors per sobre d'aquesta línia impliquen el trencament complet de l'envàs. L'àrea grisa representa l'interval crític on l'aparició de fractures esdevé altament probable (representa el 70% del límit de màxima deformació).

Aquí torna a ser l'àmfora Ibèrica la que mostra una major deformació, per bé que tampoc hauria suposat un perill per a la integritat de l'envàs. En la Figura 152 es pot observar clarament com el valor de màxima deformació d'aquesta àmfora (0.019%) se situa molt allunyat, no sols del valor límit situat en 0.1% (línia discontinua), sinó també de l'interval crític (àrea grisa) que es podria situar de manera poc conservadora en un 70% del límit de màxima deformació (Kilikoglou i Vekinis 2002).

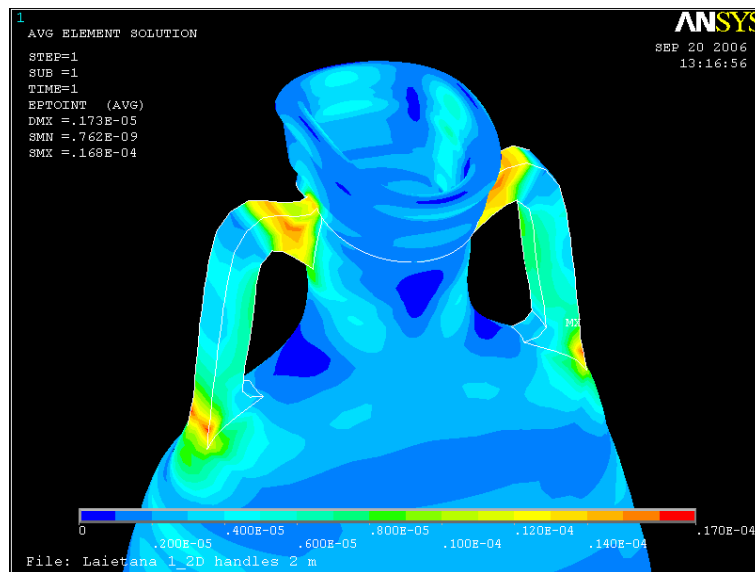
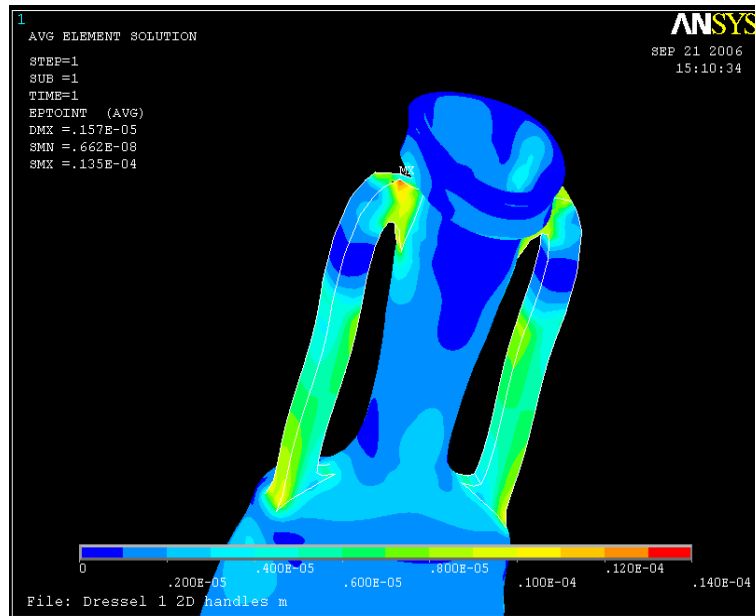
Pel que respecta a les àmfores romanes, els tres dissenys tornen a mostrar un comportament molt similar. La màxima deformació que experimenten els tres tipus es troba molt lluny del límit de màxima deformació i s'ha d'entendre, per tant, que l'alçament per les nanses d'aquests envasos plens no hauria suposat en cap cas l'aparició de fractures crítiques per a la integritat estructural dels envasos. Aquesta activitat no sembla, doncs, que permeti explicar satisfactòriament per sí mateixa la modificació en el disseny de les àmfores romanes.

Cal destacar que la diferència de comportament entre l'àmfora Ibèrica i les àmfores romanes es fa més evident ara del que ho era en la Simulació I. L'explicació d'aquest fet és la següent. La part de l'àmfora que pateix més estrès (i per tant major deformació) en ser alçada per les nanses és la mateixa en els quatre casos: els punts d'unió de les nanses i el cos de l'àmfora (veure Figures 153-155). Així doncs, l'àmfora Ibèrica experimenta una major deformació perquè té les nanses més petites i circulars i, per tant, els punts d'estrès estan molt a prop. Tot el contrari del que succeeix amb el tipus Dressel 1. Aquesta àmfora és la que té les nanses més allargades, cosa que es tradueix amb una millor distribució de l'estrès generat durant el seu alçament. Evidentment, aquestes diferències s'accentuen en el cas dels envasos plens donat que l'estrès que es genera és major (el doble en el cas de la Dressel 1 i més del triple en la Ibèrica). En qualsevol cas, aquestes diferències no es poden considerar significatives en tant que en no implicarien cap perill per a la integritat estructural de les àmfores. Donat que la màxima deformació elàstica se situa sempre molt per sota del límit crític en el qual apareixerien les fractures, no sembla que els canvis en el disseny de les nanses es puguin interpretar com un empitjorament rellevant del disseny en termes de propietats mecàniques. En aquest sentit, les diferències en el comportament tècnic de les nanses no tindrien, en cap cas, efectes pràctics. Així, es pot pensar que les diferències en el

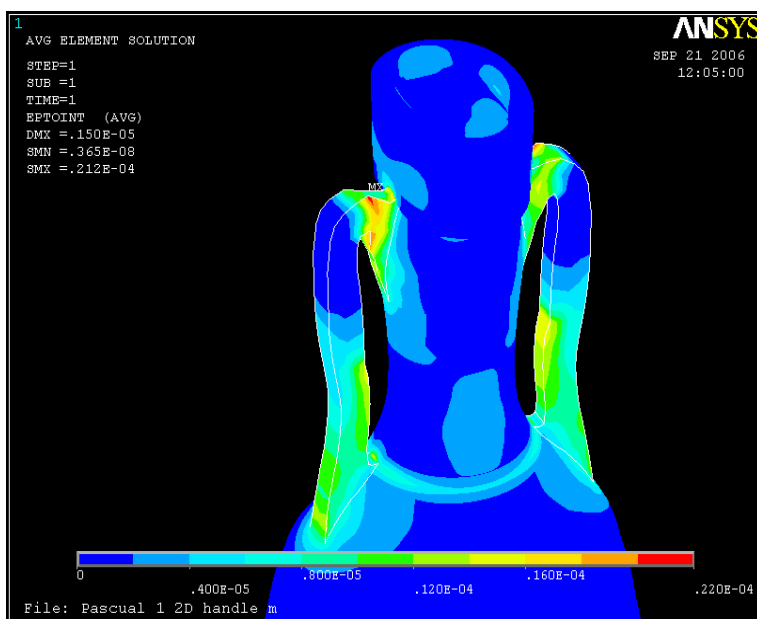
disseny de les nanses s'explicarien bé per ser un canvi que va a remolc de la resta del disseny de l'àmfora, especialment del coll, o bé per altres factors diferents a la funcionalitat en termes de propietats mecàniques.



**Figura 153.** Exemple de la deformació calculada per AEF del model d'àmfora Ibèroca. L'escala cromàtica indica la magnitud de les deformacions. L'àrea de màxima deformació apareix indicada amb MX.



**Figura 154.** Exemple de la deformació calculada per AEF dels models Dressel 1 (superior) i Laietana 1/Tarraconense 1 (inferior). L'escala cromàtica indica la magnitud de les deformacions. L'àrea de màxima deformació apareix indicada amb MX.



**Figura 155.** Exemple de la deformació calculada per AEF del model Pascual 1. L'escala cromàtica indica la magnitud de les deformacions. L'àrea de màxima deformació apareix indicada amb MX.

### 9.5 Simulació III. Model d'estiba (càrrega estàtica en pivot)

Una de les interaccions més rellevants per a l'avaluació dels diferents models amforals correspon al seu comportament durant la seva disposició semiestàtica com a càrrega d'un vaixell. En aquest cas concret s'ha simulat una càrrega aplicada al pivot o base de cada un dels models amforals. Aquesta càrrega es correspondria a la situació d'una àmfora disposada en vertical descansant el seu pes exclusivament a sobre del pivot, o el que seria el seu equivalent, a efectes de simulació, a l'aplicació d'una força d'impacte directe a l'àrea del pivot en contacte amb una superfície plana a una determinada velocitat (Figura 156). La simulació s'ha efectuat considerant tant els envasos buits com plens de contingut. En aquest darrer cas la càrrega simulada és la corresponent a la del volum estimat per a cada model (Taula 67, Annex 1) assumint una càrrega líquida amb la densitat de l'aigua destil·lada.

En el cas de la simulació d'una càrrega que afectaria el pivot d'un envàs, el més correcte seria la simulació d'una força impulsiva aplicada a aquesta àrea concreta

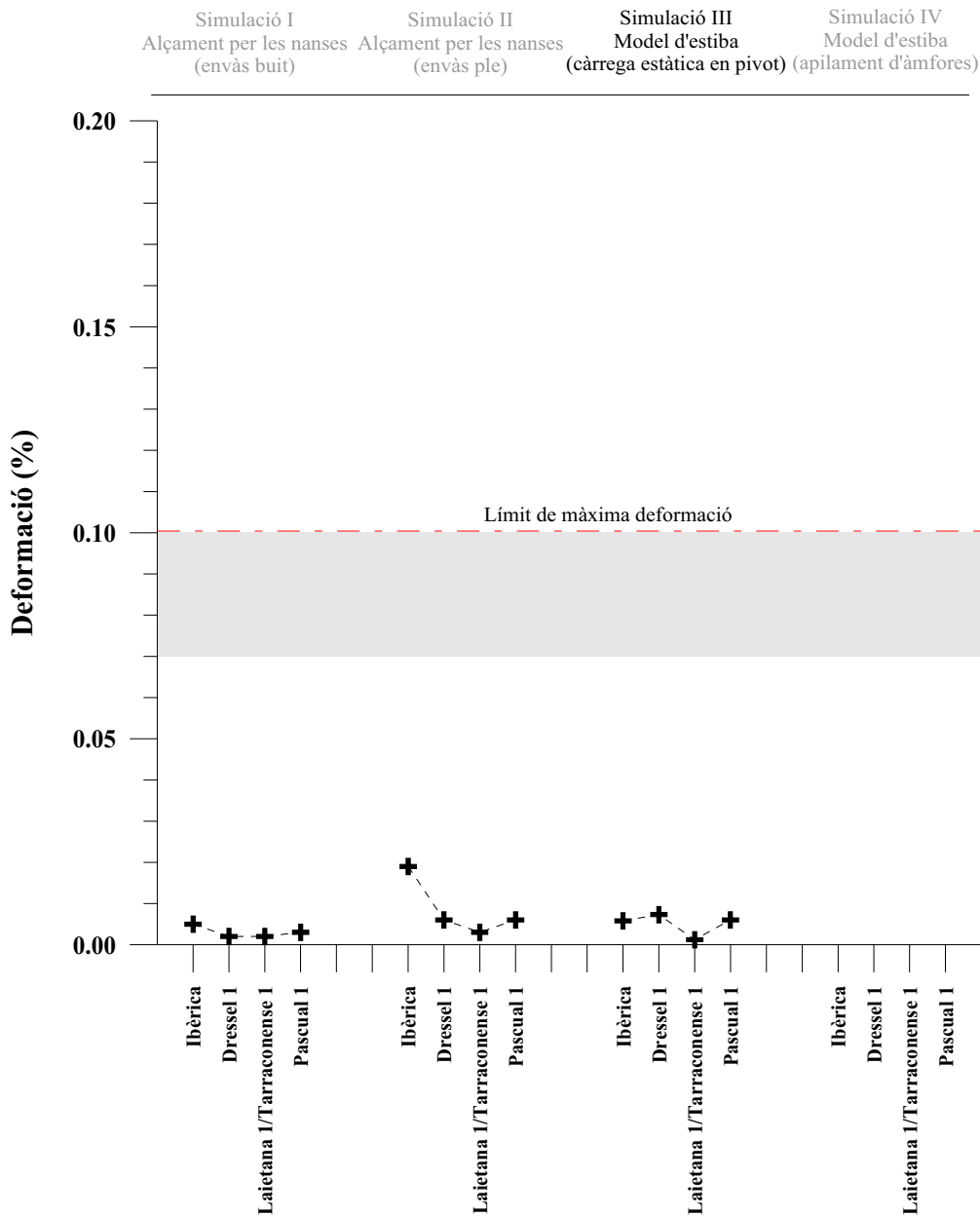
l'àmfora. Tanmateix aquesta possibilitat no ha pogut ésser implementada en aquest estudi d'AEF. Per aquest motiu, les forces d'impacte directe sobre el pivot de les àmfores han estat simulades com a càrregues constants, el que es pot considerar una aproximació suficient per tal de avaluar les diferències en les competències dels envasos prenguent en compte exclusivament els corresponents dissenys formals. Així, les corresponents càrregues aplicades han estat estimades a partir de la velocitat de caiguda vertical d'una àmfora des d'una determinada alçada i el temps mesurat que tardaria en ésser aturada al entrar en contacte amb el sòl.



**Figura 156.** Simulació de l'aplicació de forces als quatre models d'àmfores.

Els resultats numèrics obtinguts en el càlcul d'AEF (Taula 70, Annex 2) apareixen representats gràficament en la Figura 157. En primer lloc s'ha realitzat el càlcul considerant els envasos buits de contingut i sota l'efecte de l'acceleració provocada per la força de la gravetat ( $10 \text{ m/s}^2$ ).

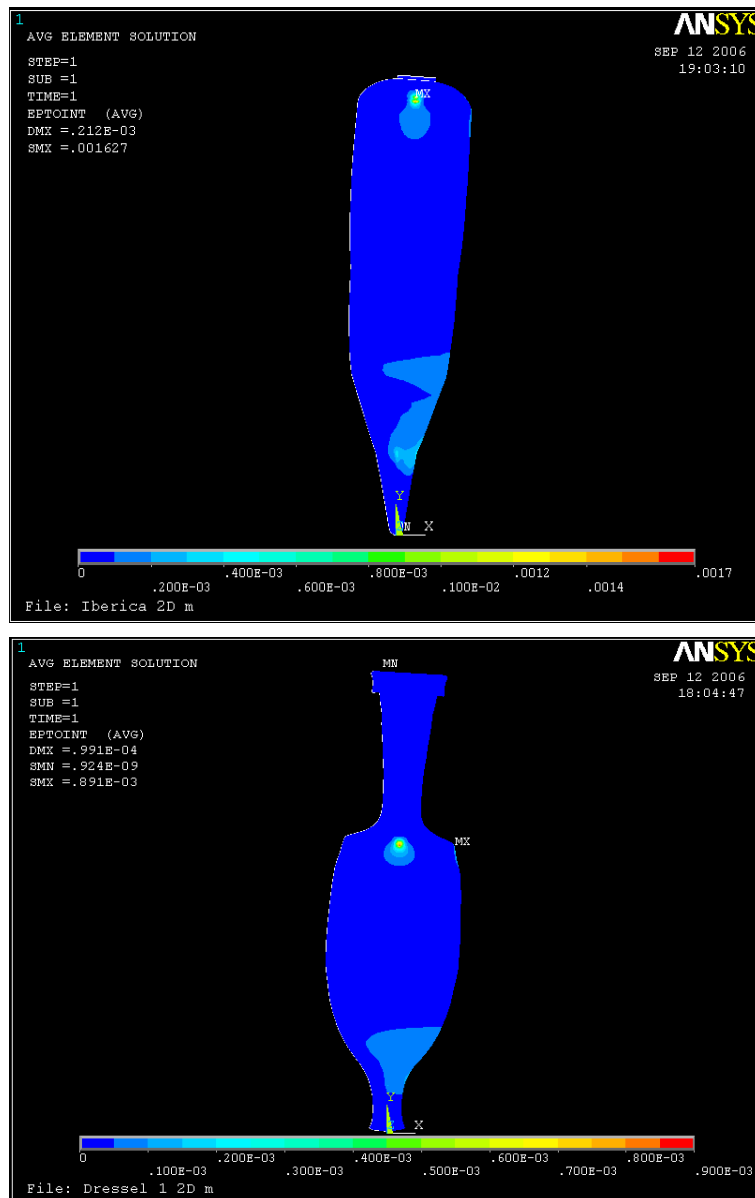




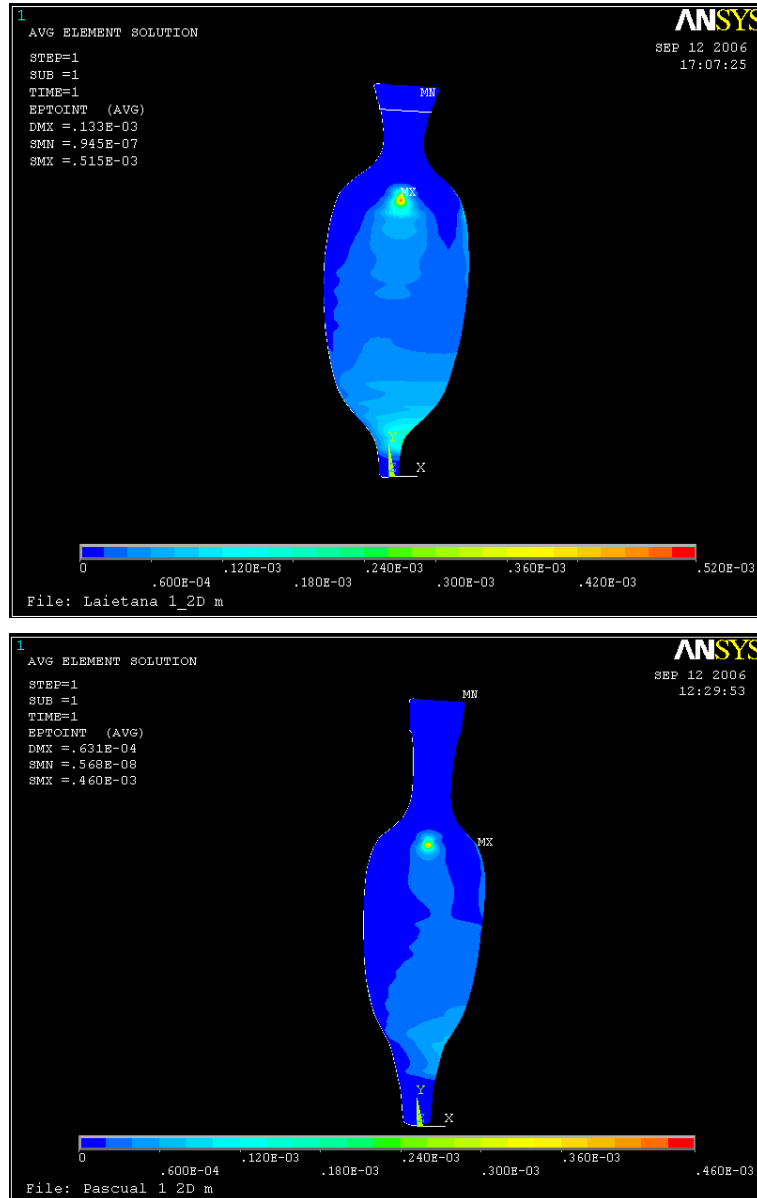
**Figura 157.** Resultats de la simulació mitjançant AEF. La línia discontinua representa el límit de màxima deformació establert per a les propietats del material. Els valors per sobre d'aquesta línia impliquen el trencament complet de l'envàs. L'àrea gris representa l'interval crític on l'aparició de fractures esdevé altament probable (representa el 70% del límit de màxima deformació).

Els resultats obtinguts a partir de l'AEF mostren que el màxim estrès generat a partir de l'aplicació de les càrregues en el pivot o base de les àmfores seria de 0.86 MPa i es correspondria amb el model d'àmfora romana Dressel 1. Aquest màxim estrès seria

l'equivalent a una deformació màxima de 0.0073%, el que representa el 7.3% del límit de màxima deformació del material ceràmic. És clar, doncs, que fins i tot el disseny que mostra el pitjor comportament en aquesta simulació —Dressel 1— resistiria la força aplicada sense cap alteració rellevant de la seva integritat estructural. A l'altre extrem, s'obté que el model que mostra un millor comportament seria el de l'àmfora Laietana 1/Tarraconense 1, en tant que el màxim estrès generat en el pivot seria de 0.15 MPa, equivalent a 0.0012% de màxima deformació, el que representa l'1.2% del límit de màxima deformació del material ceràmic. Les Figures 158-161 il·lustren la deformació calculada per l'AEF dels models d'àmfora Ibèrica, Dressel 1, Laietana 1/Tarraconense 1 i Pascual 1.

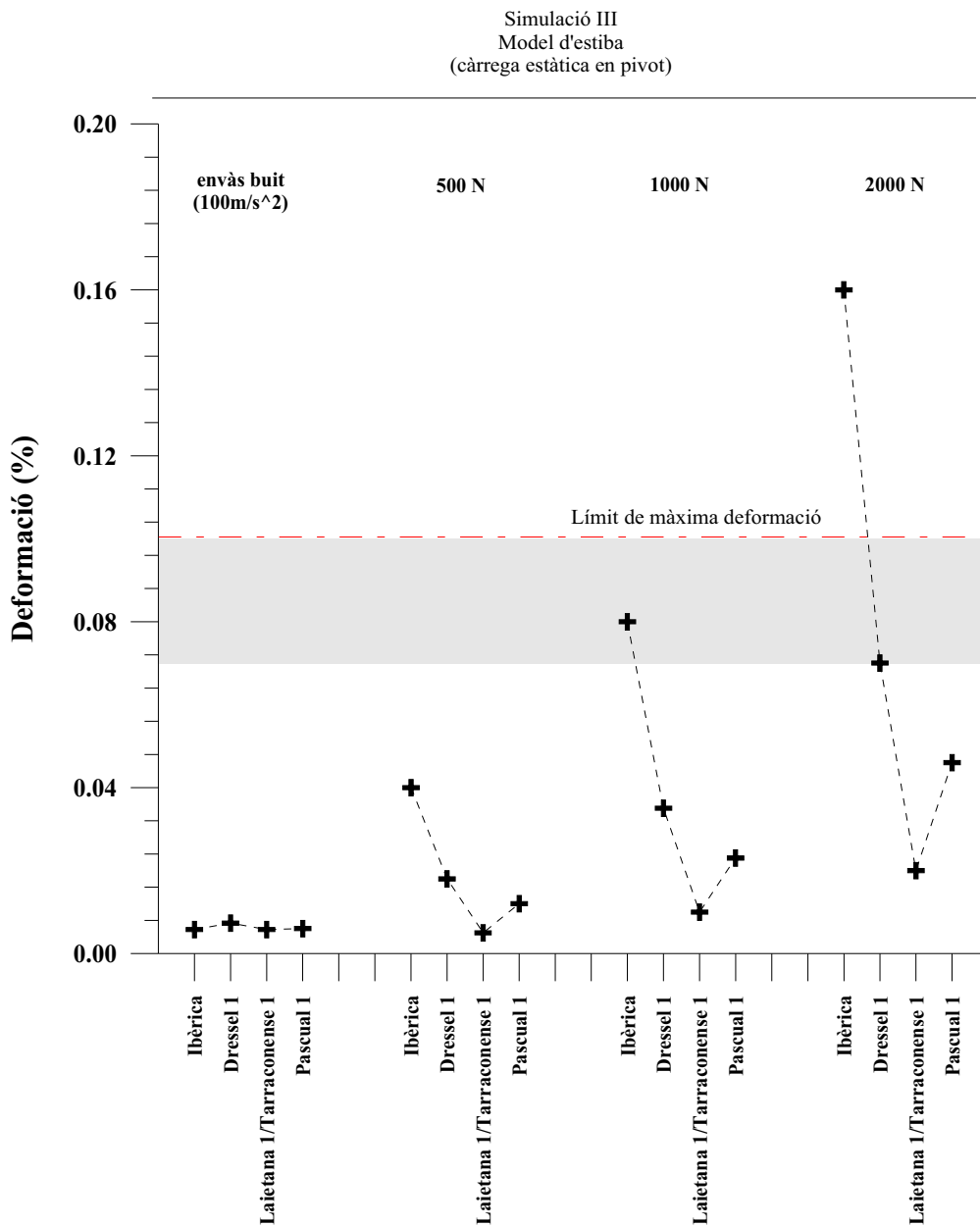


**Figura 158.** Exemple de la deformació calculada per AEF dels models d'àmfora Ibèrica (superior) i Dressel 1 (inferior). L'escala cromàtica indica la magnitud de les deformacions. L'àrea de màxima deformació apareix indicada amb MX.



**Figura 159.** Exemple de la deformació calculada per AEF dels models Laietana 1/Tarraconense 1 (superior) i Pascual 1 (inferior). L'escala cromàtica indica la magnitud de les deformacions. L'àrea de màxima deformació apareix indicada amb MX.

A partir dels resultats obtinguts considerant una força estàtica sobre el pivot dels envasos però ara plens d'aigua (Taula 70, Annex 1) s'observa que la major càrrega es correspon a l'exercida sobre el model Pascual 1, concretament 508 N. Atès que la màxima deformació resultant d'aquesta simulació tampoc implica modificacions estructurals crítiques per a cap dels models anforals, han estat ampliades les simulacions numèriques per AEF amb un increment constant de la càrrega aplicada. Així, hem realitzat noves simulacions assumint els quatre models anforals plens d'aigua però ara aplicant majors càrregues, concretament 500 N, 1000 N i 2000 N. Els resultats es presenten en la Taula 71 (Annex 1). Com queda il·lustrat en la gràfica de la Figura 160, l'augment en les forces aplicades als quatre models anforals reproduïxen de manera pràcticament lineal l'increment de la màxima deformació en tots els casos. A partir de l'aplicació d'una força de 500 N comencen a aparèixer les majors diferències entre els quatre models anforals en estudi. En aquest cas concret, és l'àmfora Ibèrica la que mostra un pitjor comportament mecànic en tant que el màxim estrès generat en la seva base resulta en 4.72 MPa que equivalen al 0.04% de màxima deformació i que, per tant, es correspon al 40% del límit de màxima deformació del material ceràmic.



**Figura 160.** Resultats de la simulació mitjançant AEF. La línia discontinua representa el límit de màxima deformació establert per a les propietats del material. Els valors per sobre d'aquesta línia impliquen el trencament complet de l'envàs. L'àrea grisa representa l'interval crític on l'aparició de fractures esdevé altament probable (representa el 70% del límit de màxima deformació).

Per la seva banda, entre els dissenys romans és la Laietana 1/Tarraconense 1 la que torna a mostrar el millor comportament, amb un estrès màxim de 0.58 MPa equivalent a 0.005% de màxima deformació, és a dir, el 5% del límit de fractura del material ceràmic, mentre que el pitjor comportament també torna a ser el del disseny Dressel 1, en tant que el màxim estrès generat en el pivot (2.08 MPa) es correspon a 0.018% de màxima deformació, és a dir, el 18 % del límit del material ceràmic.

Tanmateix, queda ben palès que ni tan sols en el cas de l'àmfora Ibèrica la força de 500 N aplicada en la base de l'envàs implicaria el seu trencament.

Uns resultats diferents són els obtinguts en cas de simular una càrrega de 1000 N. Per bé que es manté el mateix patró en què l'àmfora Ibèrica mostra un pitjor comportament que els dissenys d'àmfora romana, els resultats obtinguts mostren ara un estrès màxim de 9.44 MPa, equivalent a 0.08% de màxima deformació, el que implica que aquesta càrrega situa el disseny d'àmfora Ibèrica dins l'interval crític de la màxima deformació establerta per al material ceràmic en el qual l'aparició de fractures crítiques per a la integritat estructural de l'envàs són altament probables. D'altra banda, la màxima deformació experimentada pels dissenys d'àmfora romana es veu incrementada de manera pràcticament lineal, per bé que en cap cas s'observen valors crítics per a la integritat de les àmfores en les condicions de càrrega aplicades.

En cas d'augmentar la càrrega simulada a 2000 N s'observa que la màxima deformació experimentada (0.16%) torna a correspondre al disseny d'àmfora Ibèrica. Aquesta deformació és clarament superior al límit de deformació del material ceràmic (0.1%) i, per tant, és evident que aquesta càrrega implicaria clarament la fallida de l'envàs. Així mateix, els resultats obtinguts en el cas de les àmfores romanes deixen clar que el model Dressel 1 torna a presentar la pitjor resposta, situant-se en la part baixa de l'interval crític establert en el 70% del límit de màxima deformació del material en el qual l'aparició de fractures crítiques per a la integritat estructural de l'àmfora és altament probable. En aquest cas, les majors deformacions es localitzen en el perímetre d'unió del cos o panxa de l'àmfora i el coll. Seguint el mateix patró observat en les simulacions anteriors, el disseny que mostraria una millor resposta a la càrrega simulada seria el de l'àmfora Laietana 1/Tarraconense 1 la qual, fins i tot en el cas d'aplicació d'una força de 2000 N en el pivot, experimentaria un estrès màxim de 2.31 MPa

equivalent a 0.02% de màxima deformació i, per tant, sense cap índex de perill de trencament. Uns resultats similars s'observen en el cas de l'àmfora Pascual 1.

En definitiva, els resultats obtinguts mitjançant l'AEF mostren que en el cas que les àmfores estiguessin col·locades en vertical descarregant tot el seu propi pes a sobre de la base o pivot dels envasos, les pressions exercides en la base de les àmfores no resultarien crítiques en cap dels quatre models considerats. Amb tot, seria l'àmfora Ibèrica la que mostraria la millor resposta, o el que és el mateix la menor deformació. Això s'explica pel fet de ser l'àmfora més lleugera amb unes parets més primes en comparació als models d'àmfora romana. En aquest mateix sentit, s'entén que els models que representen els tipus Dressel 1 i, de manera similar, el tipus Pascual 1 mostren el major grau de deformació en tant que són els envasos de major pes amb parets més gruixudes. En canvi, si es consideren els envasos plens d'aigua, el pivot més robust de les àmfores romanes permeten una millor resistència de les càrregues generades en la disposició vertical dels envasos (el propi pes dels envasos més el pes del seu contingut), mentre que les parets més primes de la base de l'àmfora Ibèrica respon amb una major deformació, per bé que tampoc resultaria crítica en cap cas. En aquesta simulació el primer índex de deformació crítica per a la integritat estructural d'un envàs el representa el cas de l'àmfora Ibèrica en ésser sotmesa a una càrrega de 1000 N; aquesta força seria l'equivalent a un pes aproximat de 100 Kg. Assumint que per al model creat s'estima un pes de 7.2 Kg per a l'envàs buit i un volum aproximat de 29.57 l, s'obté un pes total d'aproximadament 36.77 Kg. Per tant, la situació crítica des del punt de vista mecànic seria l'equivalent a una força exercida en la base d'una àmfora per poc menys de tres àmfores apilades i descarregant el seu propi pes i el dels corresponents continguts en un mateix punt al llarg de la vertical (concretament el pes equivalent a 2.72 àmfores plenes). Evidentment, aquesta simulació representa unes condicions extremes, per bé que permeten il·lustrar clarament les diferències de comportament degudes exclusivament al disseny dels envasos. S'ha de considerar que el contingut assumit és un líquid amb la densitat de l'aigua destil·lada (aproximadament  $1000 \text{ Kg/m}^3$ ); altres possibles continguts que generalment s'associen amb aquests envasos presenten unes menors densitats i, per tant, implicarien unes forces de menor magnitud.



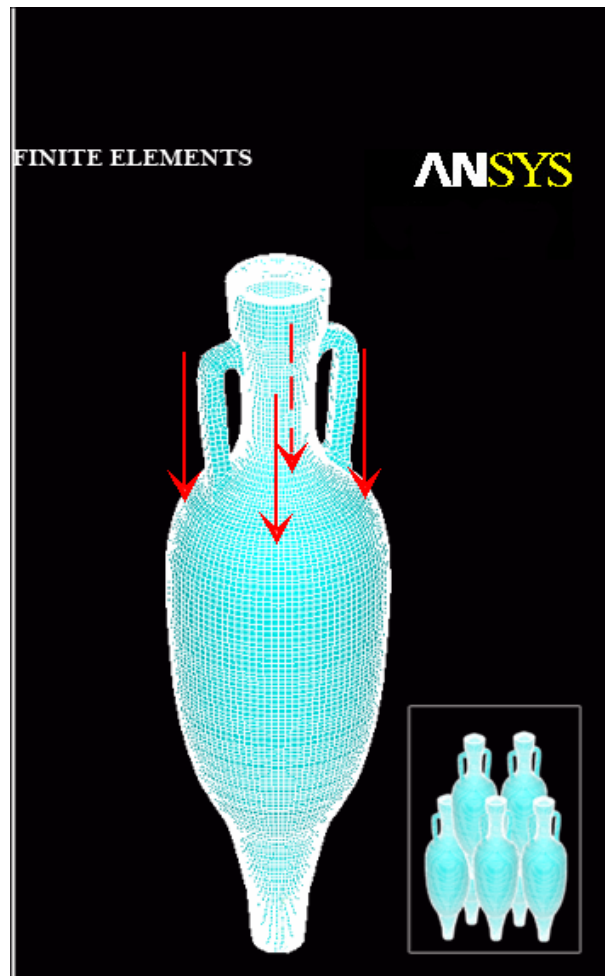
Un cas encara més extrem el representa la simulació d'una càrrega de 2000 N que implicaria clarament la fallida completa de l'envàs d'àmfora Ibèrica. Aquesta força aplicada seria l'equivalent a una càrrega de 200 Kg, és a dir, una situació equivalent a l'apilament en una mateixa vertical de pràcticament 5 àmfores i mitja plenes de contingut. No obstant, aquesta simulació mostra uns resultats que són certament sorprenents. En primer lloc destaca l'extraordinari comportament mecànic dels tipus Pascual 1 i, molt especialment, del tipus Laietana 1/Tarraconense 1. En el primer cas, els resultats mostren que aquest disseny podria suportar sense cap perill les forces equivalents a pràcticament 4 filades d'àmfores plenes en una mateixa vertical (concretament 3.92). El comportament mecànic és encara millor per al tipus Laietana 1/Tarraconense 1 el qual seria capaç de suportar l'equivalent al pes de més de 5 filades (concretament 5.3) i se situaria encara molt lluny de qualsevol perill per a la seva integritat estructural; cal destacar que per a la càrrega simulada de 2000 N el màxim estrès generat és equivalent a només el 20% del límit de màxima deformació del material.

Uns resultats igualment sorprenents, per bé que en sentit contrari, són els corresponents a l'àmfora romana del tipus Dressel 1, en tant que en aquesta simulació el seu comportament se situa en l'interval crític dins del 70% del límit de màxima deformació. Assumint que el pes d'aquest model d'àmfora és d'aproximadament 25.7 Kg i el volum estimat és de 25.1 l, aquesta situació crítica esdevindria en una situació equivalent a l'apilament en una mateixa vertical de poc menys de 4 àmfores plenes (concretament 3.94). Aquest resultat és sorprenent per diverses raons. En primer lloc perquè són habituals els casos documentats d'apilaments d'aquests tipus amforals, de fins i tot cinc filades d'àmfores (Gianfrotta i Pomey 1981). En segon lloc perquè aquesta simulació correspon a una càrrega estàtica i, per tant, no es consideren les condicions dinàmiques de l'onatge de la mar que implicarien unes condicions encara més severes a les simulades aquí. Ara bé, per bé que aquests resultats són sorprenents, la simulació no es correspondria exactament amb una situació real d'estiba ja que l'apilament d'aquests envasos sembla que es realitzaria de manera que les àmfores de les filades superiors descarregarien el seu pes parcialment sobre els individus situats en filades inferiors, distribuint la càrrega generada en quatre punts diferents de l'esquena

de l'àmfora. Així doncs, per tal de corroborar aquest primer indicatiu de comportament mecànic deficitari en el cas de l'àmfora Dressel 1 i el bon comportament aparent dels altres dos tipus d'àmfora romana es fa necessari implementar un nou càlcul simulant aquestes condicions específiques d'estiba.

### ***9.6 Simulació IV. Model d'estiba (apilament d'àmfores)***

En aquesta simulació s'ha tingut en compte el fet que, especialment en el cas de les àmfores romanes, les evidències arqueològiques indiquen una estiba dels envasos a l'interior dels vaixells formant diverses capes o fileres. Per aquesta raó s'han simulat les forces que hauria d'haver suportat una àmfora situada en la filera inferior d'una càrrega. Les forces aplicades corresponen a 1000 N en cada un dels punts a on descansaria la filada superior (Figura 161).

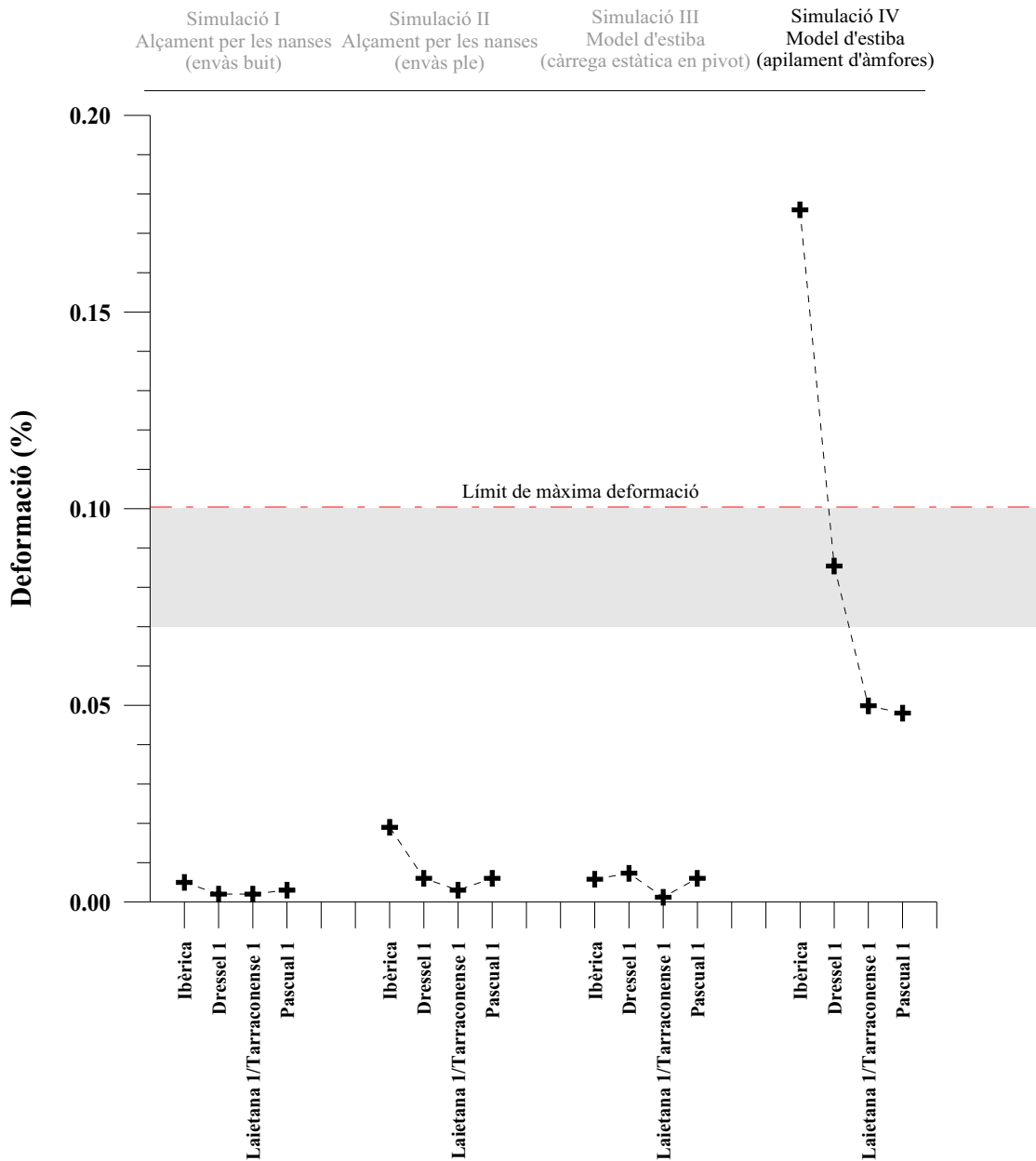


**Figura 161.** Simulació de l'aplicació de forces als quatre models d'àmfores.

El número de filades formades per envasos plens d'aigua equivalents a la força simulada es presenta junt als resultats numèrics de la simulació en la Taula 72 (Annex 1). Certament, un càrrega estibada amb aquesta quantitat de capes correspondria en tots els casos a un vaixell d'unes dimensions considerables. A partir de les restes arqueològiques sabem que la majoria de vaixells que varen circular carregats amb aquestes àmfores tindrien unes dimensions més modestes. En general les dimensions d'aquests vaixells estarien entre els 14-15 m d'eslora, 4-5 m de mànega i 2-3 m de puntal, amb uns carregaments al voltant de les 500 àmfores (Nieto Prieto i Raurich i Santaló 1998). A partir d'aquestes dimensions, sembla raonable estimar un carregament estibat en dues o tres filades com a màxim. No obstant, és important precisar que les

pressions que s'estan simulant en aquest estudi corresponen a un apilament estàtic. És a dir, aquesta simulació no pren en consideració el moviment constant que experimentaria la càrrega un cop estigués estibada dins del vaixell a causa del moviment de la mar. Tampoc es té en compte que, un cop el vaixell hagués salpat, els moviments que l'onatge provocaria a la nau suposarien un augment considerable d'aquestes pressions. També és important precisar que només s'estan simulant les pressions que provocarien les àmfores apilades, mentre que s'obvien les pressions laterals provocades per altres envasos i els violents impactes puntuals que, amb tota seguretat, es produirien al llarg de la travessia. Així doncs, és molt plausible considerar que les pressions que patirien en realitat les àmfores situades en les filades inferiors d'una càrrega de dos o tres pisos serien, sinó superiors, similars a les simulades en aquest cas.

En la Figura 162 es poden observar els valors corresponents a la màxima deformació experimentada pels quatre models. Com es pot observar, la màxima deformació que experimenta l'àmfora Ibèrica (0.176%) se situa un 76% per sobre del límit establert per les propietats físiques de la ceràmica. Aquest resultat indica que les condicions d'apilament simulades haurien provocat clarament la fallida de l'àmfora Ibèrica. Ara bé, la interpretació d'aquest resultat requereix d'algunes precisions. Una es refereix a les propietats físiques de la ceràmica que han estat atribuïdes als elements finits. Per bé que aquestes propietats es poden trobar en algunes produccions d'àmfores Ibèriques (Tsantini 2007), el que és cert és que són especialment freqüents entre les àmfores romanes. En aquest sentit cal tenir en compte que la fàbrica de les àmfores Ibèriques presenta diferències significatives respecte de les romanes.



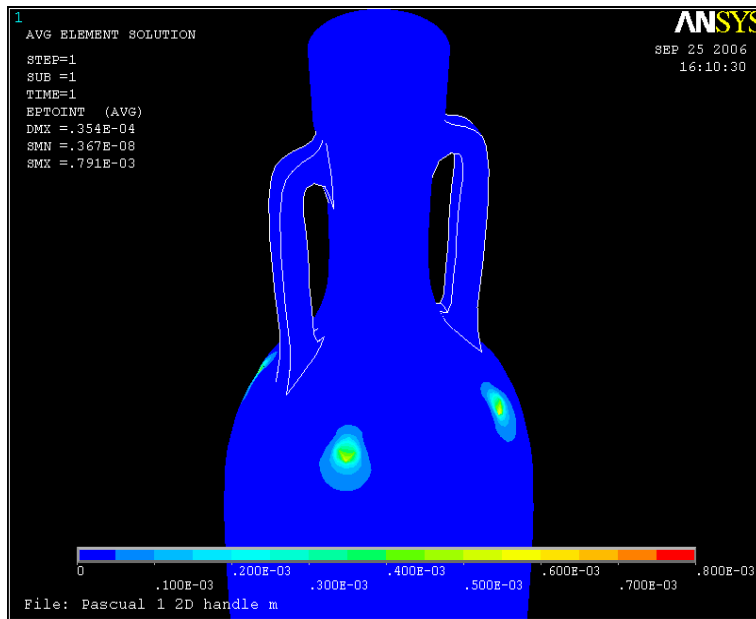
**Figura 162.** Resultats de la simulació mitjançant AEF. La línia discontinua representa el límit de màxima deformació establert per a les propietats del material. Els valors per sobre d'aquesta línia impliquen el trencament complet de l'envàs. L'àrea grisa representa l'interval crític on l'aparició de fractures esdevé altament probable (representa el 70% del límit de màxima deformació).

Mentre que les àmfores romanes es caracteritzen com ja hem demostrat per una fàbrica grollera amb diferents mides de desgreixador de quars, les àmfores Ibèriques presenten una freqüència i mida de desgreixador significativament menor, cosa que

s'hauria de traduir amb una major resistència a la fractura (Kilikoglou *et al.* 1998). Igualment, desconeixem fins a quin punt aquestes àmfores Ibèriques s'haurien estibat formant diverses capes o filades cosa que sí es constata en molts vaixells carregats amb els diferents tipus d'àmfora romana. En qualsevol cas, el que sí es desprèn de l'AEF és que aquest tipus amforal no representa un disseny adient per a ser estibat en vàries filades dins d'un vaixell, per bé que presenta una gran estabilitat en cas de ser dipositat verticalment a terra i recolzat a un altre envàs similar, cosa que succeiria, per exemple, en el context d'una activitat d'emmagatzematge, o en una estiba d'una sola filada.

A l'altre extrem d'aquest comportament hi trobam els tipus Laietana 1/Tarraconense 1 i Pascual 1. En aquests dos casos la màxima deformació experimentada per les àmfores és pràcticament la mateixa (0.0499% i 0.048%, respectivament), cosa que indica un comportament gairebé idèntic dels dos dissenys, malgrat la diferència considerable en la seva mida. Els valors d'aquests dos dissenys són clarament inferiors al límit imposat pel material i, per tant, es pot entendre que les forces provocades per l'apilament de les àmfores no haurien provocat el trencament de la filada inferior. En aquest sentit és important destacar el fet que, en ambdós casos, l'estrès provocat per l'apilament es concentra exclusivament en els punts de contacte de les àmfores. La Figura 163 il·lustra la deformació que experimentaria una àmfora Pascual 1 situada en la filada inferior de la càrrega simulada. Podem observar com les parts de l'àmfora que patirien més estrès durant l'apilament queden limitades a una petita àrea al voltant dels punts de contacte amb la filada superior. Aquest estrès és de 5.9 MPa en el cas de la Laietana 1/Tarraconense 1 i de 5.66 MPa en el cas de la Pascual 1, el que suposa respectivament al voltant d'un 50% i un 48% del límit màxim de deformació, clarament inferior tant al límit marcat per la línia discontinua com a l'interval crític marcat en gris en la Figura 162.

Com en el cas anterior, els resultats més sorprenents d'aquesta simulació són els corresponents al model d'àmfora Dressel 1. En primer lloc es pot observar que la deformació és molt superior a la dels altres dos tipus d'àmfora romana. Aquest resultat indica que el disseny itàlic presenta una pitjor adequació a les condicions d'estiba simulades que els tipus posteriors Laietana 1/Tarraconense 1 i Pascual 1. És més, el valor de màxima deformació (0.0864%) se situa plenament dins de l'interval crític,



**Figura 163.** Exemple de la deformació calculada per AEF del model Pascual 1. L'escala cromàtica indica la magnitud de les deformacions. L'àrea de màxima deformació apareix indicada amb MX.

molt proper al límit establert en 0.1% i, per tant, en una zona on l'aparició de fractures crítiques és altament probable.

Per concretar aquesta avaluació, s'ha examinat la distribució de l'estrès generat per l'apilament dels envasos en els tres models d'àmfora romana. L'objectiu és identificar els punts més febles de cada disseny quan es troben sotmesos a les condicions de transport simulades. Els resultats de l'AEF indiquen que, en els tres casos, la vora és la part de l'àmfora que resulta menys afectada per les pressions. Aquest resultat no deixa de ser sorprenent en termes d'interpretació arqueològica; una de les parts que més varien en el disseny de les àmfores i que serveixen de referent per a la classificació dels tipus amforals resulta ser, molt probablement, la que menys importància té des del punt de vista funcional en termes de propietats mecàniques.

A l'altre extrem, les parts de l'àmfora que concentren més l'estrès i que, per tant, són les més crítiques des del punt de vista tècnic apareixen indicades en la Taula 72 (Annex 1). L'AEF mostra que els dissenys Laietana 1/Tarraconense 1 i Pascual 1 exhibeixen un comportament molt similar. En aquests dos dissenys l'estrès generat per l'apilament de les àmfores quedaria concentrat especialment en el pivot i en la zona adjacent (la part inferior del cos de l'àmfora). En el cas del disseny de l'àmfora Dressel 1, en canvi, tot i que l'estrès també apareix en el pivot de l'àmfora, la màxima

concentració es localitza en la carena, és a dir, en la zona en la qual s'uneixen la panxa i el coll de l'àmfora, corroborant els resultats obtinguts en la Simulació III. Així es pot concloure que l'angle marcat d'aquesta carena és el principal responsable de la concentració de l'estrès i, per aquesta raó, de que el comportament de la Dressel 1 sigui significativament pitjor al dels models Laietana 1/Tarraconense 1 i Pascual 1. L'excessiva concentració d'estrès en la carena facilita l'aparició de les fractures i, en darrera instància, el col·lapse i la fallida de l'envàs. En canvi, les formes més afusades de la Laietana 1/Tarraconense 1 i, especialment, de la Pascual 1 permeten que l'estrès es distribueixi més fàcilment cap a la part inferior de l'envàs fins que arriba a descarregar en el pivot, la part més massissa i robusta de tota l'àmfora.

El resultat d'aquesta simulació suggereixen que les variacions en els dissenys d'aquestes àmfores podrien ser el resultat de la recerca d'una millor adequació a les condicions de transport marítim. Almenys, aquest sembla ser el cas de la carena típica de la Dressel 1 que desapareix en els dissenys posteriors. Aquest fet sembla ja constatar-se en les darreres produccions de Dressel 1 on la carena tendeix a ser menys marcada per donar lloc a un disseny més estilitzat (Comas 1998; Márquez i Molina 2005; Peacock i Williams 1986).

En qualsevol cas, és clar que un carregament de Dressel 1 estibat en capes resultaria més inestable que un carregament de Laietana 1/Tarraconense 1 o Pascual 1. O el que és el mateix, hi ha més probabilitat que les àmfores estibades en les capes inferiors d'un carregament es trenquin en cas de ser del tipus Dressel 1, que no pas en cas de ser Laietana 1/Tarraconense 1 o Pascual 1. A més, aquests comportaments diferenciats s'haurien de manifestar encara de manera més evident durant unes condicions severes de transport marítim.

## **9.7 Conclusions**

Com esperem que hagi quedat evidenciat, l'aplicació de tècniques modernes mitjançant simulació per ordinador permet avaluar el disseny d'una ceràmica, o de qualsevol altre objecte, en termes de rendiment tècnic. L'AEF es revela com una tècnica que ofereix il·limitades oportunitats en els estudis arqueològics. A partir d'una simple representació gràfica bidimensional de l'objecte a estudiar i de les seves propietats



mecàniques bàsiques es poden generar models predictius sobre les circumstàncies que haurien pogut provocar la seva fallida. La seva aplicació pot oferir noves dades sobre les variacions en el disseny de molts dels artefactes i tecnologies documentades diàriament en el registre arqueològic. De fet, el seu camp d'aplicació depèn exclusivament de la nostra imaginació. Artefactes lítics, vaixells, estructures arquitectòniques, forns i un ampli ventall de tipus ceràmics són casos paradigmàtics per a ser estudiats mitjançant l'AEF. Aquesta possibilitat incorpora nous elements d'anàlisi a l'estudi arqueològic i permet donar una nova perspectiva als estudis de les tipologies ceràmiques; l'AEF incorpora sobre una base contrastable els estudis tipològics en l'estudi dels processos tecnològics de l'Antiguitat. D'aquesta manera es poden avaluar les tipologies ceràmiques i inferir si darrera els canvis en les formes hi pot haver una voluntat dels ceramistes per aconseguir unes determinades propietats o bé plantejar explicacions al fet que millores manifestes en determinats dissenys no siguin posteriorment reproduïdes.

En relació al cas d'estudi, els resultats demostren clares diferències en el comportament mecànic dels quatre models d'àmfores. En el cas de les simulacions de l'alçament dels envasos per les nanses s'ha demostrat que tant el model d'àmfora Ibèrica com els tres models d'àmfora romana (Dressel 1, Laietana 1/Tarraconense 1, Pascual 1) haurien suportat les forces generades, fins i tot en el cas de ser alçades plenes d'aigua. En aquest darrer cas, tot i que l'àmfora Ibèrica mostra el pitjor comportament mecànic (per bé que en cap cas es pot considerar crític per a la integritat de l'envàs), cal afegir que les deformacions observades serien menors en el cas que el seu alçament s'efectués amb l'assistència d'una corda passada per les nanses (o bé jus per sota d'elles) al voltant de la part superior de l'envàs, ja que les càrregues generades quedarien més distribuïdes al llarg d'aquesta part de l'àmfora. Evidentment, aquesta mateixa consideració s'ha de considerar vàlida per als models d'àmfora romana.

Així mateix, es constata que les diferències més marcades en el comportament mecànic dels dissenys es produeixen en els casos de simulació d'una suposada estiba en vaixell. Els primers indicis de fallida d'un envàs es corresponen al tipus d'àmfora Ibèrica en ésser sotmesa a una càrrega estàtica en la seva base de 1000 N. Els models d'àmfora romana Laietana 1/Tarraconense 1 i Pascual 1, d'altra banda, palesen un

excel·lent comportament mecànic, fins i tot en els casos més extrems, per als quals també s'ha demostrat que el model Dressel 1 presentaria deficiències importants que provocarien la seva fallida. Cal puntualitzar que el fet d'haver emprat un nombre elevat d'elements finits tridimensionals en la creació del model d'aquestes àmfores (Taula 67, Annex 1) ofereix un grau d'exactitud molt alt en la nostra simulació (Madenci i Guven 2005). Ara bé, l'AEF és una aproximació del que seria la realitat. En aquest sentit és important tenir present que, com hem argumentat en els capítols precedents, aquestes ceràmiques no presenten en absolut una microestructura uniforme, sinó que hi abunden les petites porositats i esquerdes microscòpiques les quals concentren l'estrès i faciliten l'aparició de fractures. De fet, aquesta és una de les principals característiques d'aquestes produccions amforals a conseqüència del baix grau d'estandardització que es va seguir en la preparació de les pastes argiloses. Ateses aquestes característiques, es especialment recomanable fer una interpretació conservadora dels resultats de l'AEF (Kilikoglou i Vekinis 2002). Per tant, és plausible pensar que el trencament dels envasos es produiria abans del que ens indica l'AEF. En qualsevol cas, els resultats obtinguts indiquen clarament que el disseny de l'àmfora Dressel 1 hauria patit deformacions considerables, no sols en cas de ser estibada formant grans càrregues sinó fins i tot en el cas d'un carregament en poques fileres.

Arribats a aquest punt es fa difícil no pensar en l'enfonsament dels grans vaixells itàlics del voltant del canvi d'Era com una possible constatació arqueològica d'aquest fet. Pensem en els derelictes de la Madrague de Giens, amb un carregament estimat d'unes 8500 àmfores del tipus Dressel 1 i estibades en quatre pisos, o bé en el d'Albenga, d'unes dimensions encara superiors, amb un carregament d'entre 11000-13500 àmfores Dressel 1 estibades formant fins a cinc pisos (Gianfrotta i Pomey 1981). A partir dels resultats obtinguts sorgeix l'interrogant de si les àmfores estibades en la part inferior d'aquests carregaments podrien haver sofert l'estrès suficient com per a trencar-se. La fallida de les àmfores de la capa inferior provocaria la immediata caiguda a pes de les capes superiors i el col·lapse d'un nombre indeterminat de més envasos. Com un efecte en cadena, es produiria un desplaçament considerable de la càrrega que, portat a l'extrem, podria haver provocat la desestabilització de la nau, facilitant-ne el seu enfonsament. A dia d'avui, no disposem de les dades necessàries per a comprovar

aquesta possibilitat; seria necessari l'estudi de les àmfores que formaven aquells carregaments en concret per a avaluar-les conjuntament amb al disseny dels vaixells. Així es podrien reproduir unes condicions més realistes que podrien aportar noves bases per a abordar aquesta problemàtica. En tot cas, entenem que els resultats obtinguts en aquestes simulacions són un clar indicatiu que el mal comportament mecànic del model d'àmfora Dressel 1 en un context d'estiba en un vaixell podria ser un dels principals responsables d'aquest fenomen.

# CAPÍTOL 10

---

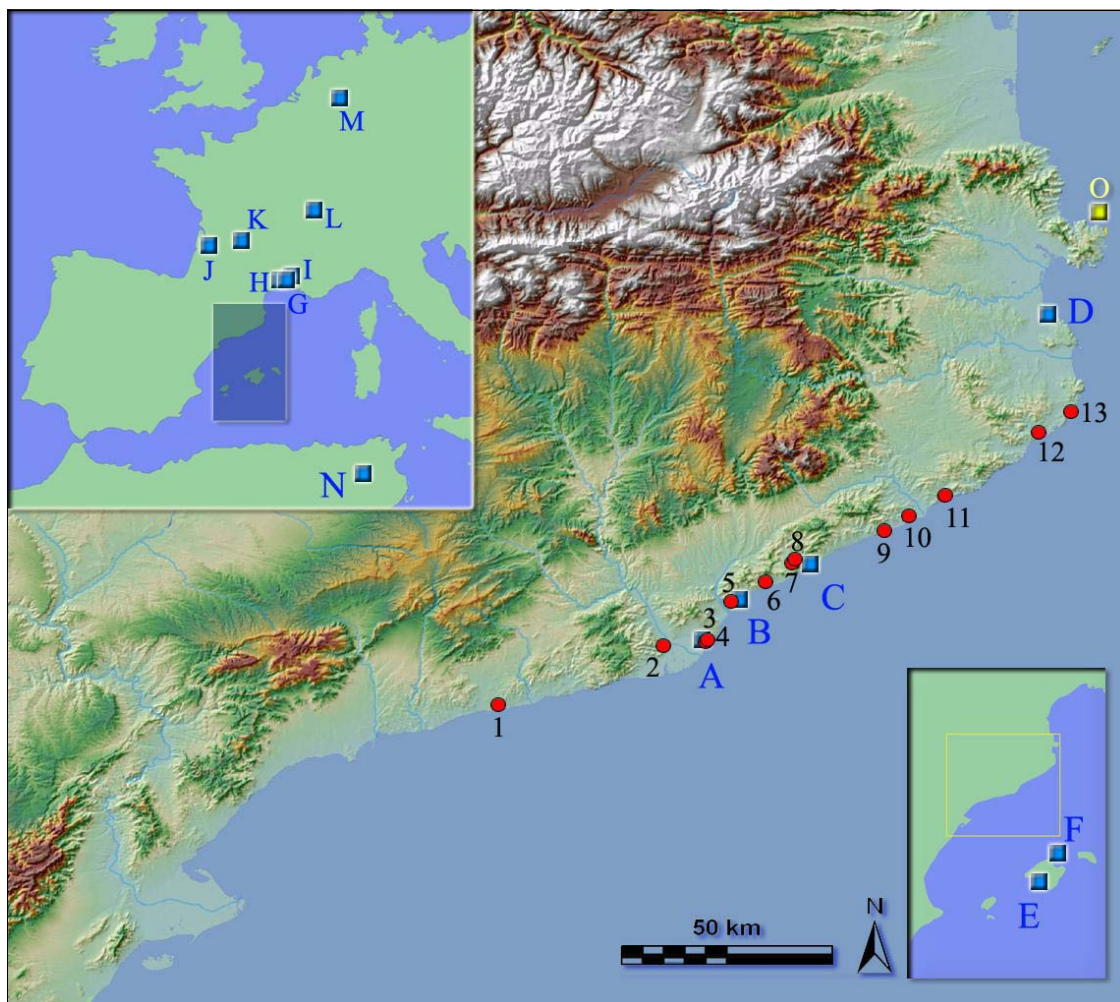
## LA DISTRIBUCIÓ I EL CONSUM D'ÀMFORES EN ELS CENTRES RECEPTORS

### *10.1 Preliminar*

**T**al com hem esmentat en la Introducció general, aquesta tesi doctoral s'ha realitzat en el marc del projecte de recerca “Estudio arqueométrico y arqueológico de la producción y difusión de ánforas del nordeste peninsular durante los S. I a.C. – I d.C. (PRODIFAN)” (BHA2003-04589). En aquest Capítol farem una primera aproximació a la provinença de les àmfores recuperades en els tres centres receptors en estudi (*Iluro* (Mataró); *Emporiae* (Empúries); *Palma* (Palma)) amb l'objectiu de començar a traçar possibles rutes de distribució des dels centres productors fins als receptors. Per tal d'ampliar les dades ja exposades dels sis centres productors caracteritzats al llarg d'aquest treball (Can Notxa (Argentona); El Mujal (Calella); C/ de Guillem de Palafolls (Malgrat de Mar); Fenals (Lloret de Mar); Collet de Sant Antoni de Calonge (Calonge); Llafranc (Palafugell)), l'estudi de provinença contemplarà, a més, les dades corresponents al banc de dades generat en el marc del

projecte PRODIFAN (Figura 164).

Part dels resultats obtinguts en el marc d'aquest projecte ja han estat publicats en diversos llocs (Buxeda *et al.* 2008; Buxeda i Gurt 1998; Buxeda *et al.* 2002b; Buxeda *et al.* 2004; Casas i Martínez 2006; Martínez *et al.* 2005; Martínez *et al.* 2006; Martínez *et al.* 2007; Martínez *et al.* 2008; Schwedt *et al.* 2006; Vila i Buxeda en premsa; Vila *et al.* 2005, 2006; Vila *et al.* 2008; Vila *et al.* en premsa-a; Vila *et al.* en premsa-b), per bé que la caracterització de la bona part dels individus roman encara inèdita. En aquest sentit cal precisar que les caracteritzacions arqueomètriques de les produccions recuperades en els jaciments d'El Vilarenc (Calafell), Barri Antic (Sant Boi del Llobregat), C/ Princesa (Barcelona), Av. Cambó-Mercat de Santa Caterina (Barcelona), Ca l'Arnau-Can Pau Ferrer (Cabrera de Mar), *Barcino* (Barcelona), *Lattara* (Lattes) i *Narbo Martius* (Narbona) han estat estudiades en el marc de la tesi doctoral de Martínez (2008).



**Figura 164.** Localització dels centres productors (●), centres receptors (■) i derelictes (■) caracteritzats en el projecte PRODIFAN. **1:** El Vilarenc (Calafell); **2:** Barri Antic (Sant Boi del Llobregat); **3:** C/ Princesa (Barcelona); **4:** Av. Cambó-Mercat de Santa Caterina (Barcelona); **5:** Can Peixau (Badalona); **6:** Cal Ros de les Cabres (El Masnou); **7:** Can Notxa (Argentona); **8:** Ca l'Arnau-Can Pau Ferrer (Cabrera de Mar); **9:** El Mujal (Calella); **10:** C/ de Guillem de Palafolls (Malgrat de Mar); **11:** Fenals (Lloret de Mar); **12:** Collet de Sant Antoni de Calonge (Calonge); **13:** Llafranc (Palafrugell); **A:** *Barcino* (Barcelona); **B:** *Baetulo* (Badalona); **C:** *Iluro* (Mataró); **D:** *Emporiae* (Empúries); **E:** *Palma* (Palma); **F:** *Pollentia* (Alcúdia); **G:** *Narbo Martius* (Narbona); **H:** *Lattara* (Lattes); **I:** *Aspiran* (Aspiran) **J:** *Burdigalia* (Burdeos); **K:** *Vesunna Petrucoriorum* (Périgueux); **L:** *Lugdunum* (Lió); **M:** *Castra Vetera* (Xanten); **N:** *Althiburos* (Kef, Tunísia); **O:** Culip VIII (Cala Culip, Cadaqués).

En la Taula 9.1 apareixen resumides les produccions caracteritzades en el marc del projecte de recerca PRODIFAN.

Jaciment	Ic	Referència	Tipus	Publicació
El Vilarenc	27	ELV001-ELV027	Dr 1 L1/T1 P1	(Martínez 2008)
Barri Antic	37	SBL001-SBL037	P1 Dr 2-4	(Martínez <i>et al.</i> 2006; Martínez 2008)
C/ Princesa	42	CSC053-CSC094	P1 <i>Pondii</i> (CSC093- CSC094)	(Casas i Martínez 2006; Martínez008)
Av. Cambó- Mercat de Santa Caterina	78	CSC001-CSC052 CSC095-CSC120	P1 Argiles (CSC095- CSC102)	(Martínez 2008)
Can Peixau	58	036801x-036808x 037401x-037417x 037419x-037426x 037428x-037429x 090301x-090316x 03742bx 03749bx 37415bx 631564x 960331x ARG-CP	P1 Argiles (ARG-CP)	(Buxeda i Gurt 1998; Buxeda <i>et al.</i> 2002b)
Cal Ros de les Cabres	30	CRC001-CRC030	P1	(Buxeda <i>et al.</i> 2002b)
Can Notxa	7	NTX001-NTX007	L1/T1 P1	-
Ca l'Arnau-Can Pau Ferrer	102	ACM001-ACM035 ACM039-ACM105	G-I Dr 1 L1/T1 P1 Argiles (ACM105)	(Buxeda i Gurt 1998; Martínez <i>et al.</i> 2005; Martínez 2008)
El Mujal	60	MUJ001-MUJ060	L1/T1 P1	(Vila <i>et al.</i> en premsa-b)
C/ de Guillem de Palafolls	32	PLF001-PLF032	P1 Dr 2-4	-
Fenals	51	FEN001-FEN051	P1 Dr 2-4	-
Collet de Sant Antoni de Calonge	38	CAL001-CAL038	L1/T1 P1 Dr 7-11 Ob 74	(Vila <i>et al.</i> 2006)

Llafranc	34	LLA001-LLA034	P1 Dr 7-11	(Vila <i>et al.</i> 2005)
Riera de Sant Simó	1	PAL059	Dr 1	-
<i>Barcino</i>	25	BCN082-BCN106	L1/T1 P1	(Martínez 2008)
<i>Baetulo</i>	95	BDN006-BDN014 MRC00A MRC002-MRC003 MRC009 MRC017-MRC019 MRC021, MRC023, MRC024 MRC031-MRC034 MRC036 MRC038-MRC047 MRC049-MRC063 MRC065-MRC069 MRC071-MRC072 MRC074-MRC078 MRC080-MRC100 MRC102-MRC103 MRC105-MRC109 MRC117 MRCCP1-MRCCP5	P1	(Buxeda i Gurt 1998)
<i>Iluro</i>	48	PAL061-PAL108	Dr 1 L1/T1 P1 Dr 7-11 Ob 74 Lamb. 2	-
<i>Emporiae</i>	47	EMP064-EMP110	Dr 1 L1/T1 P1	(Vila i Buxeda en premsa)
<i>Palma</i>	31	CMA001-CMA031	G-I Dr 1 L1/T1 P1	-
<i>Pollentia</i>	11	PFR041-PFR051	P1	-
<i>Narbo Martius</i>	43	NAR001-NAR043	Dr 1 L1/T1 P1	(Martínez 2008)
<i>Lattara</i>	41	LAT001-LAT041	Dr 1 L1/T1 P1 Argiles (LAT033- LAT037, LAT040)	(Martínez 2008)
<i>Aspiran</i>	1	PFR054A	P1	-



<i>Burdigalia</i>	4	PFR001-PFR004	P1	-
<i>Vesunna Petrucoriorum</i>	7	PFR005-PFR011	P1	-
<i>Lugdunum</i>	29	PFR012-PFR040	P1	-
<i>Castra Vetera</i>	1	PFR054	Ob 74	-
<i>Althiburos</i>	2	ALT001-ALT002	Dr 2-4	-
<i>Culip VIII</i>	2	PFR052-PFR053	P1	(Buxeda <i>et al.</i> 2004)
<b>29</b>	<b>984</b>			<b>Total</b>

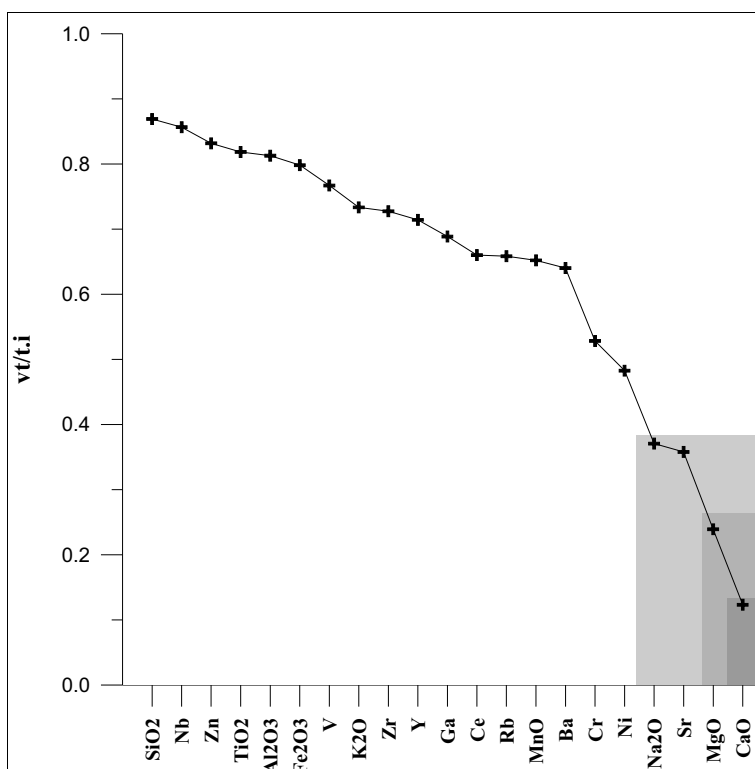
**Taula 9.1.** Quadre resum de les produccions amforals caracteritzades en el marc del projecte de recerca PRODIFAN. **G-I:** Greco-itàlica; **Dr 1:** Dressel 1; **L1/T1:** Laietana 1/Tarraconense 1; **P1:** Pascual 1; **Dr 2-4:** Dressel 2-4; **Dr 7-11:** Dressel 7-11; **Ob 74:** Oberaden 74; **Lamb. 2:** Lamboglia 2.

## 10.2 PRODIFAN. Una visió general

En el marc del projecte PRODIFAN han estat analitzats un total de 984 individus (Taula 9.1) procedents de 13 centres productors situats en el nord-est de la península Ibèrica i de 14 centres receptors localitzats en la mateixa zona de producció, així com en l'Europa continental i les Illes Balears (Figura 164). El material analitzat està format majoritàriament per fragments d'àmfora. Així mateix, també s'han inclòs mostres d'argiles extretes de les àrees properes als centres de l'Avinguda Cambó-Mercat de Santa Caterina (Barcelona), Can Peixau (Badalona), Ca l'Arnau-Can Pau Ferrer (Cabrera de Mar) i *Lattara* (Lattes), així com dos individus corresponents a fragments de *pondii* procedents del centre del C/ Princesa (Barcelona).

El tractament estadístic de les dades resultants de l'anàlisi química per FRX segueix les consideracions exposades per Aitchison (1986), Buxeda (1999) i Buxeda i Kilikoglou (2003) sobre dades composicionals. Així, la variació total (*vt*) obtinguda en el càlcul de la matriu de variació composicional (MVC) ha estat emprada per a estimar la variació química existent en aquest conjunt de dades (Taula 73, Annex 1). Com era

d'esperar, el valor resultant ( $vt=1.97727$ ) es pot considerar molt alt d'acord amb els resultats obtinguts en l'experiment de remostreig aleatori II<sup>47</sup>. Aquesta alta variabilitat reflecteix clarament la natura heterogènia del conjunt analitzat, representat per una gran multiplicitat de centres productors i receptors. Com queda il·lustrat en el gràfic bivariant de la Figura 165, l'alta variabilitat total ve proporcionada fonamentalment pels vectors columna  $\tau_{i,\text{CaO}}$ ,  $\tau_{i,\text{MgO}}$ ,  $\tau_{i,\text{Sr}}$ ,  $\tau_{i,\text{Na}_2\text{O}}$  i  $\tau_{i,\text{Ni}}$ , per als quals la variació total de l'estructura de covariància representa menys del 50% dels seu valor ( $vt/\tau_i < 0.50$ ).

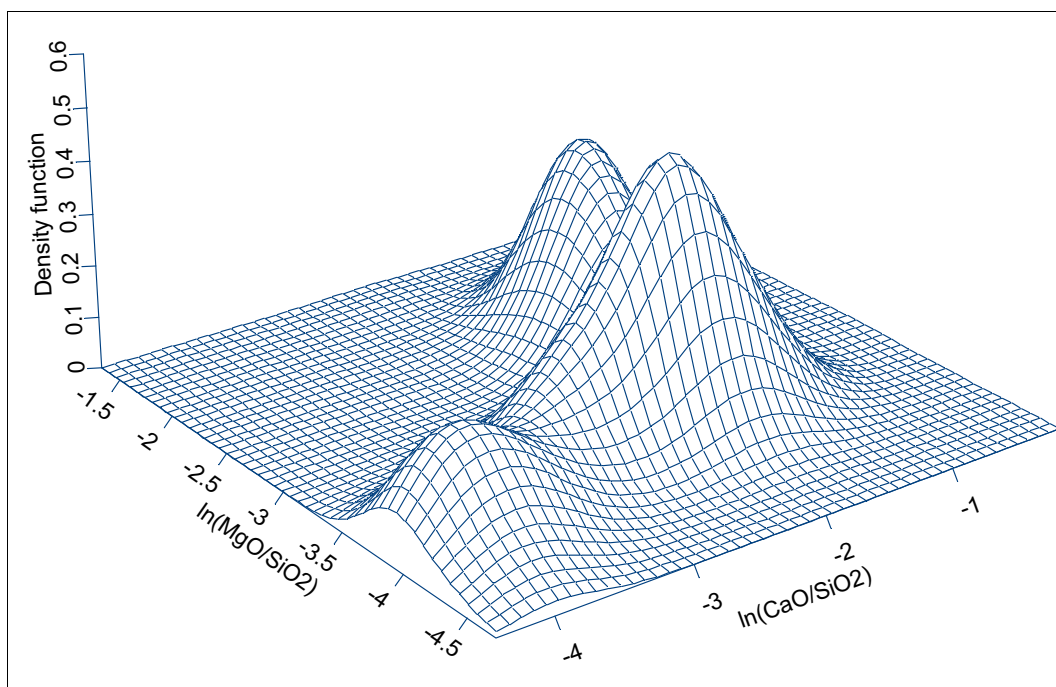


**Figura 165.** Gràfic bivariant dels elements químics retinguts per a l'anàlisi ordenats per rang descendent (en abscesses) en funció dels valors  $vt/\tau_i$  (en ordenades).

<sup>47</sup> Veure apartat 7.3.1.

La major part d'aquesta variació sembla poder-se atribuir a les diferents eleccions tècniques que s'haurien pres durant el procés de producció dels envasos amforals seguint els diferents models que ja han estat discutits al llarg dels capítols precedents i, en menor mesura, a diversos processos d'alteració i contaminació que haurien afectat puntualment a diversos individus. Així, mentre que en alguns centres productors sembla aparent un canvi en l'ús de pastes poc calcàries a pastes calcàries que es correspon de manera aproximada amb el canvi en el disseny formal de les àmfores (com seria el cas de Ca l'Arnau-Can Pau Ferrer) (Martínez *et al.* 2005), en altres casos aquest canvi sembla que afecta a uns mateixos tipus amforals (com en els casos de Llafranc i Collet de Sant Antoni de Calonge) (Vila *et al.* 2005, 2006), i en altres és clara la producció de diversos dissenys a partir exclusivament de pastes poc calcàries (com per exemple els casos d'El Mujal, C/ Guillem de Palafolls i Fenals) (Vila *et al.* en premsa-b).

La Figura 166 il·lustra la principal tendència en la composició química de tot el conjunt analitzat en el marc del projecte PRODIFAN. Aquesta gràfica representa l'estimació de la funció de probabilitat fent servir el mètode *kernel* dels valors de CaO i MgO transformats en logaritmes de raó emprant els valors del Si<sub>2</sub>O com a divisor en tant que representa el component amb menor variació en tot el conjunt de dades. Aquests resultats mostren l'existència de tres grans agrupacions; una primera agrupació minoritària formada per àmfores fetes a partir de pastes poc calcàries i amb continguts baixos en MgO (que seria el cas de les produccions del grup A format pels individus de Can Notxa, El Mujal, C/ Guillem de Palafolls i Fenals), una segona agrupació majoritària de ceràmiques calcàries també amb continguts baixos en MgO (com seria el cas de les produccions calcàries de Llafranc i Sant Antoni de Calonge), i una tercera agrupació caracteritzada per uns continguts alts tant en CaO com en MgO (com seria el cas de bona part de les produccions dels centres productors de Can Peixau i Cal Ros de les Cabres, així com diversos conjunts procedents de la ciutat de *Barcino* (Martínez 2008)).



**Figura 166.** Gràfic bivariant d'estimació de la funció de densitat de probabilitat mitjançant el mètode *kernel* dels valors  $\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)$ , en abscisses, i  $\ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2)$ , en ordenades.

### 10.3 *Iluro* (Mataró)

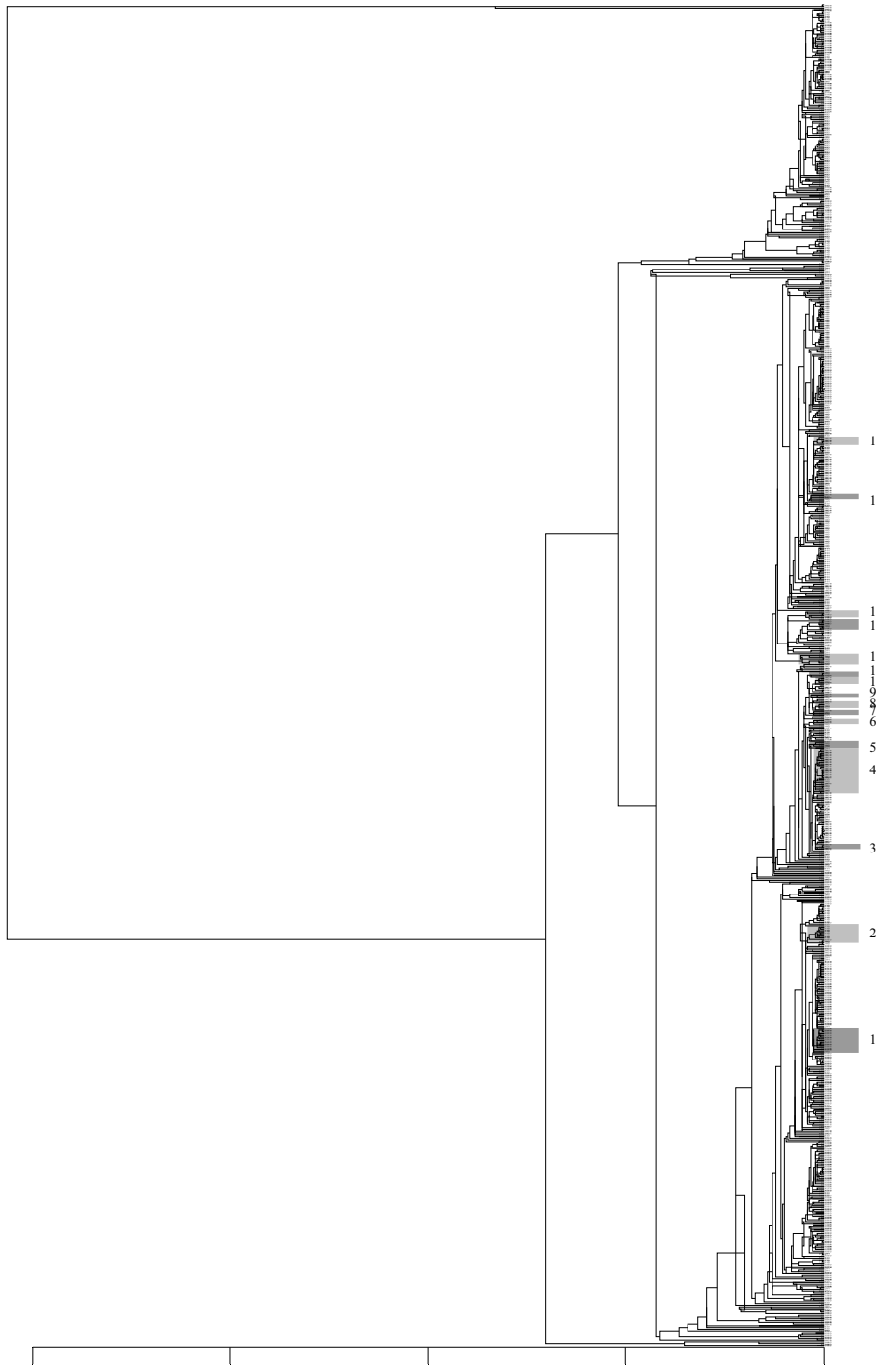
Amb l'objectiu d'establir la provinença de les àmfors recuperades en el centre receptor d'*Iluro* s'ha realitzat una anàlisi d'agrupament sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Y}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Ce}$ ,  $\text{Ga}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Ni}$  i  $\text{Cr}$ . Per tant, queden exclosos els components  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Pb}$  i  $\text{Cu}$ , part de la variabilitat dels quals s'ha demostrat que respon a processos d'alteració i contaminació postdeposicionals i que afecten a diversos individus procedents dels centres productors. La discussió sobre la variabilitat química exhibida en els centres receptors ha estat exposada a l'apartat 7.3.1.2.

L'anàlisi d'agrupament s'ha efectuat fent servir el mètode aglomeratiu del centroide i emprant la distància Euclidiana al quadrat amb el paquet informàtic S-Plus 2000 (MathSoft 1999). En aquesta anàlisi s'han inclòs els 984 individus caracteritzats en el marc del projecte PRODIFAN procedents d'un total de 29 jaciments, entre els quals hi ha centres productors, centres receptors i derelictes (Veure Taula 9.1).

El resultat es resumeix gràficament en el dendrograma de la Figura 167. El primer individu procedent del centre receptor d'*Iluro* que mostra similituds composicionals significatives amb altres individus i que forma part d'una agrupació representa un fragment de Pascual 1 (PAL088). A partir dels resultats obtinguts, per a aquest individu es pot establir una provenença compatible amb el centre productor de Can Peixau (Buxeda i Gurt 1998; Buxeda *et al.* 2002b). Més concretament, la composició de la pasta presenta clares semblances amb les característiques del grup químic definit per Martínez (2008) com a CP-B, el qual està format de manera exclusiva per àmfores del tipus Pascual 1. L'estudi del difractograma d'aquest individu permet suggerir una TCE de 850-950°C. Els individus que formen aquest conglomerat apareixen etiquetats en el dendrograma amb un 1.

A la dreta d'aquesta primera agrupació hi apareixen tres individus del tipus Dresel 1 (PAL106, PAL107 i PAL108) que presenten similituds composicionals amb els individus Pascual 1 de l'agrupació ELV-2 del centre productor d'El Vilarenc. Aquestes dades són consistents amb els resultats obtinguts per Martínez (2008: 484-485). Així mateix, destaca el fet que en aquesta agrupació hi queda inclòs un individu (CSC094) que representa un fragment de *pondius* que va ser recuperat en el C/ Princesa de la ciutat de Barcelona (Blasi i Martínez 2006). Com en el cas de l'agrupació anterior, per a aquests individus també s'estima una TCE de 850-950 °C.

D'altra banda, la composició dels individus PAL094 (Laietana 1/Tarraconense 1) i PAL089 (Pascual 1) mostra compatibilitat amb una petita agrupació procedent de Ca l'Arnau formada també per aquests mateixos dissenys, concretament l'individu Pascual 1 ACM040 i l'individu Laietana 1/Tarraconense 1 ACM064 (Martínez 2008: 307-316). Les TCE estimades per a aquests individus també se situa en el rang de 850-950°C. Aquesta agrupació apareix indicada en el dendrograma de la Figura 167 amb el número 3.



**Figura 167.** Dendrograma resultant de l'anàlisi de conglomerats dels 984 Ic del projecte PRODIFAN, emprant la distància euclidiana al quadrat i l'algoritme aglomeratiu del centroide sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, utilitzant el  $\text{SiO}_2$  com a divisor. Les agrupacions estan enumerades de manera correlativa seguint l'ordre exposat en el text.

A continuació s'observa una gran agrupació formada majoritàriament per àmfores procedents del centre productor de Ca l'Arnau-Can Pau Ferrer (Martínez 2008). Entre aquests individus se situen clarament dos Dressel 1 (PAL062, PAL063), una Laietana 1/Tarraconense 1 (PAL081) i una Pascual 1 (PAL070) recuperades a *Iluro*, així com també una àmfora Dresel 1 (EMP069) i una Laietana 1/Tarraconense 1 (EMP081) procedents d'*Emporiae* i una Pascual 1 recuperada en el centre receptor de *Lattara* (LAT027). Aquesta agrupació apareix indicada en el dendrograma de la Figura 167 amb el número 4. Les TCE d'aquests individus tornen a situar-se en el rang 850-950°C.

A la dreta queda definida una primera unitat de referència composicional de pasta (Buxeda *et al.* 1995) (URCP-1) formada per dos individus Laietana 1/Tarraconense 1 (PAL082, PAL083) i un individu Pascual 1 (PAL090) procedents d'*Iluro*, els qual s'ajunten a una distància ultramètrica relativament curta amb dues Pascual 1 de *Lattara* (LAT006, LAT021). No obstant, en tant que les diferències químiques entre aquests individus procedents dels dos centres receptors afecten a un nombre elevat de components, es decideix no s'incloure'ls en la mateixa URCP. En aquest cas, els individus d'*Iluro* que formen aquesta URCP-1 mostren major variació en les TCE, de manera que per a l'individu PAL082 s'estima una TCE de <850°C, per a l'individu PAL083 >1100°C i per a la PAL090 entre 900/950-1000°C.

D'altra banda, també queda definida una agrupació (número 6) formada per un individu Dressel 1 (PAL071) i un altre del tipus Laietana 1/Tarraconense 1 (PAL079) procedents d'*Iluro* que serien compatibles amb un individu Laietana 1/Tarraconense 1 (ACM004) recuperat en el centre productor el qual no va poder ser associat a cap grup químic (Martínez 2008: 314), així com un individu Pascual 1 (CRC003) procedent de la ciutat de de *Baetulo*.

A la dreta d'aquesta darrera agrupació, es defineix la URCP-2 que integra una àmfora Laietana 1/Tarraconense 1 d'*Iluro* (PAL072), una Pascual 1 de *Burdigalia* (PFR002) i una Laietana 1/Tarraconense 1 (EMP077) d'*Emporiae*. Amb certes similituds respecte aquesta darrera hi ha una nova agrupació (URCP-3) formada per dos individus Dressel 1 (PAL0064, PAL076), un Laietana 1/Tarraconense 1 (PAL080) i un Pascual 1 (PAL075) procedents d'*Iluro*, així com un individu Pascual 1 (LAT023) de *Lattara*. Els individus d'*Iluro* mostren tots unes TCE entre 900/950-1000°C. Aquesta

agrupació apareix indicada en el dendrograma de la Figura 167 amb el número 7. També amb importants similituds respecte l'anterior, es defineix una agrupació en què l'individu Pascual 1 PAL065 es mostra compatible amb una petita agrupació de Can Pau Ferrer.

A continuació, l'anàlisi de conglomerats indica que la composició dels individus Pascual d'*Iluro* PAL069 i PAL066, ambdós amb una TCE <850°C, seria compatible amb la producció identificada com a grup químic C1 del centre productor de Ca l'Arnau (Martínez 2008: 307-316). Així mateix, cal destacar que en aquesta agrupació també s'inclou una de les marques analitzades procedents de *Baetulo* (MRC00A).

A la dreta queda configurada la URCP-4 formada per els individus Dressel 7-11 d'*Iluro* (PAL073, PAL074), i l'individu Pascual 1 de *Baetulo* (MRC002), tots ells d'unes TCE <850°C. A continuació es forma una nova agrupació (URCP-5) formada pels individus d'*Iluro* Pascual 1 PAL085, PAL091 i PAL095, Dressel 1 PAL101, PAL102 i PAL105, així com un individu Pascual 1 (PFR047) recuperat en el centre receptor de *Pollentia*.

Seguidament es configura la URCP-6, la qual destaca per una gran homogeneïtat química, formada per quatre àmfors Greco-itàliques recuperades a *Palma* (CMA001-CMA004) i tres Dressel 1 d'*Iluro* (PAL061, PAL097, PAL098), totes elles amb unes TCE estimades entre 850-950/1000°C. Així mateix, per la seva banda es configura una nova agrupació amb lleugeres diferències respecte l'anterior i que està formada pels individus Dressel 1 de *Palma* (CMA015) i Pascual 1 d'*Iluro* (PAL104) (URCP-7). A la dreta, apareix la darrera URCP formada per individus Pascual 1 d'*Iluro* (PAL096), de *Lugdunum* (PFR015) i de *Pollentia* (PFR045).

Finalment, el darrer individu del centre receptor d'*Iluro* que pot ésser afiliat a una agrupació correspon a un fragment de Pascual 1 (PAL087) la composició del qual permet suggerir una compatibilitat amb el grup químic B-3 del centre productor de Ca l'Arnau (Martínez 2008: 307-316). La TCE estimada per a aquest individu se situa en el rang 1000/1050-1100°C.

La relació dels individus que han estat afiliats a un grup químic definit prèviament en un centre productor es presenta en la Taula 74. D'altra banda, les URCP a les quals hi apareixen individus procedents d'aquest centre receptor es presenten a la



Taula 75.

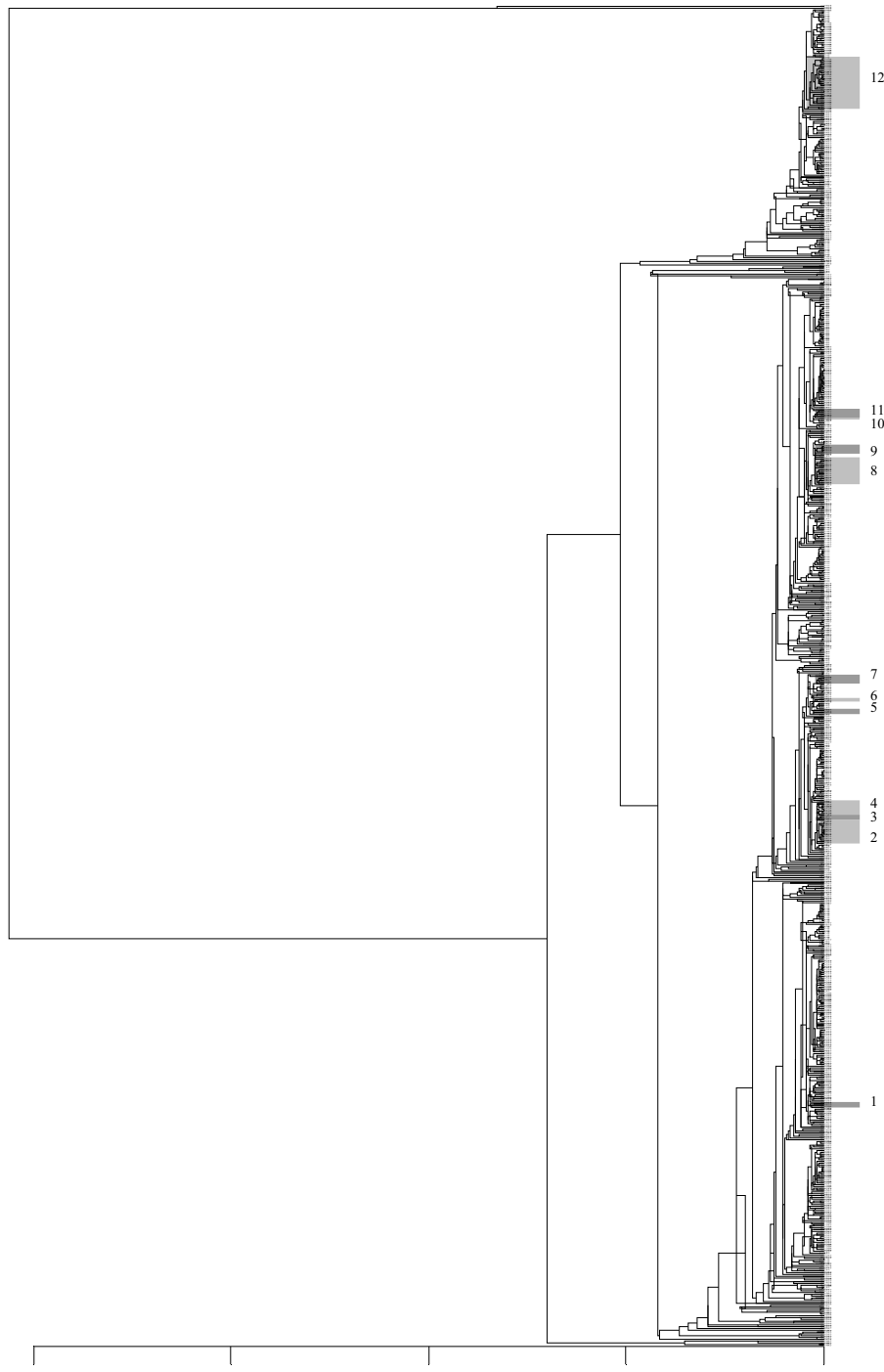
### **10.4 Emporiae (Empúries)**

Per tal d'establir la provenença de les àmfores recuperades en el centre receptor d'*Emporiae* s'ha repetit el procediment exposat a l'anterior apartat. Així, s'ha efectuat una anàlisi d'agrupament sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, emprant el  $\text{SiO}_2$  com a divisor en la transformació de les dades en logaritmes de raons, i emprant la distància Euclidiana al quadrat com a distància entre individus i l'algoritme aglomeratiu del centroïde.

Com es pot observar en la Figura 168 que representa el dendrograma resultant de l'anàlisi de conglomerats, la primera agrupació consistent en què s'identifica un individu recuperat en el centre receptor d'*Emporiae* representa la URCP-1. Aquesta agrupació està formada per quatre individus del tipus Pascual 1 procedents dels centres receptors d'*Emporiae* (EMP092), *Baetulo* (MRC058), *Lugdunum* (PFR030), i *Barcino* (CSCC048). En aquest cas, la TCE estimada per a l'individu EMP092 s'estima en el rang 1000/1050-1100°C. Aquesta URCP apareix indicada en el dendrograma amb un 1.

A la dreta d'aquesta primera agrupació es troba un grup (etiquetat amb 2) format pels individus Dressel 1 (EMP065) i Pascual 1 (EMP088) que mostren clares similituds composicionals amb la pasta etiquetada com a B1 procedent del centre productor de Can Pau Ferrer (Martínez 2008: 307-316). Les TCE estimades per a aquests individus se situen en <850-900°C per al primer i 900/950-1000°C per al segon.

A continuació hem optat per definir dues agrupacions diferents, per bé que les diferències composicionals entre elles són molt lleugeres; es tracta de la URCP-2, formada per dues Pascual 1 d'*Emporiae* (EMP086, EMP087), una Pascual 1 de *Lattara* (LAT028) i una *Laietana 1/Tarraconense 1* (LAT003) del mateix centre receptor, i l'agrupació número 4 en la qual els individus Dressel 1 (EMP066) i Pascual 1 (EMP094, EMP101) d'*Emporiae* i la Pascual 1 de *Narbo Martius* (NAR023) presenten una provenença compatible amb la pasta NTX-A definida per al centre productor de Can Notxa. Les TCE estimades per als individus d'*Emporiae* són de <850-900°C per a EMP066, 950-1000°C per a EMP094, i de 900/950-1000°C per a EMP101.



**Figura 168.** Dendrograma resultant de l'anàlisi de conglomerats dels 984 Ic del projecte PRODIFAN, emprant la distància euclidiana al quadrat i l'algoritme aglomeratiu del centroide sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, utilitzant el  $\text{SiO}_2$  com a divisor. Les agrupacions estan enumerades de manera correlativa seguint l'ordre exposat en el text.

La següent agrupació identificada correspon a la URCP-3, formada per dues Laietana 1/Tarraconense 1 (EMP077, PAL072) i una Pascual 1 de *Burdigalia* (PFR002). Aquests individus presenten una TCE <850°C. Aquesta URCP apareix indicada en el dendrograma amb 5. A la seva dreta es configura la URCP-4 formada per tres Pascual 1 d'*Emporiae* (EMP096) i *Barcino* (BCN082, BCN095).

A continuació es defineix l'agrupació formada per Pascual 1 d'*Emporiae* (EMP109), d'*Iluro* (PAL069, PAL066) i de *Baetulo* (MRC00A) les quals presenten importants similituds amb el grup químic C1 del centre productor de Ca l'Arnau (Martínez 2008: 307-316). Igualment, els individus Pascual 1 EMP090 i EMP091 queden inscrits en l'agrupació formada exclusivament per les àmfores que defineixen el grup químic C2 d'aquest mateix centre productor. Aquest grup apareix indicat en el dendrograma amb un 8. Més a la dreta es forma una altra agrupació (URCP-5) en la qual la Pascual 1 EMP102 i les Pascual 1 procedents de *Pollentia* (PFR041, PFR044, PFR048, PFR049, PFR050) es fusionen a una distància ultramètrica relativament curta indicant una possible provinença similar. En aquest sentit, també sembla clara una provinença compatible entre els individus Pascual 1 recuperats a *Emporiae* (EMP106) i *Barcino* (BCN103) (URCP-6).

D'altra banda, a partir de les semblances composicionals exhibides es pot establir que l'individu Pascual 1EMP089 seria clarament compatible amb la producció de Pascual 1 CAL-B definida en el centre productor de Sant Antoni de Calonge. En tot cas, cal puntualitzar que, per bé que han estat definits com a dues agrupacions diferents, els dos darrers grups presenten importants similituds composicionals que podrien indicar un potencial origen comú.

Finalment, els darrers individus d'aquest centre receptor que queden agrupats formen conglomerats molt ben definits i fusionats a una distància ultramètrica molt curta. L'estudi comparatiu de la seva composició permet suggerir una mateixa provinença per a tots en el centre productor d'El Mujal. Més concretament, s'observa que l'individu Laietana 1/Tarraconense 1 EMP075 es va fabricar amb una pasta pràcticament idèntica a la definida com a MUJ-B3, formada íntegrament per aquest disseny amforal. Igualment, l'individu Laietana 1/Tarraconense 1 EMP084 hauria estat fabricat amb la mateixa pasta definida com a MUJ-B1, emprada també en exclusiva per

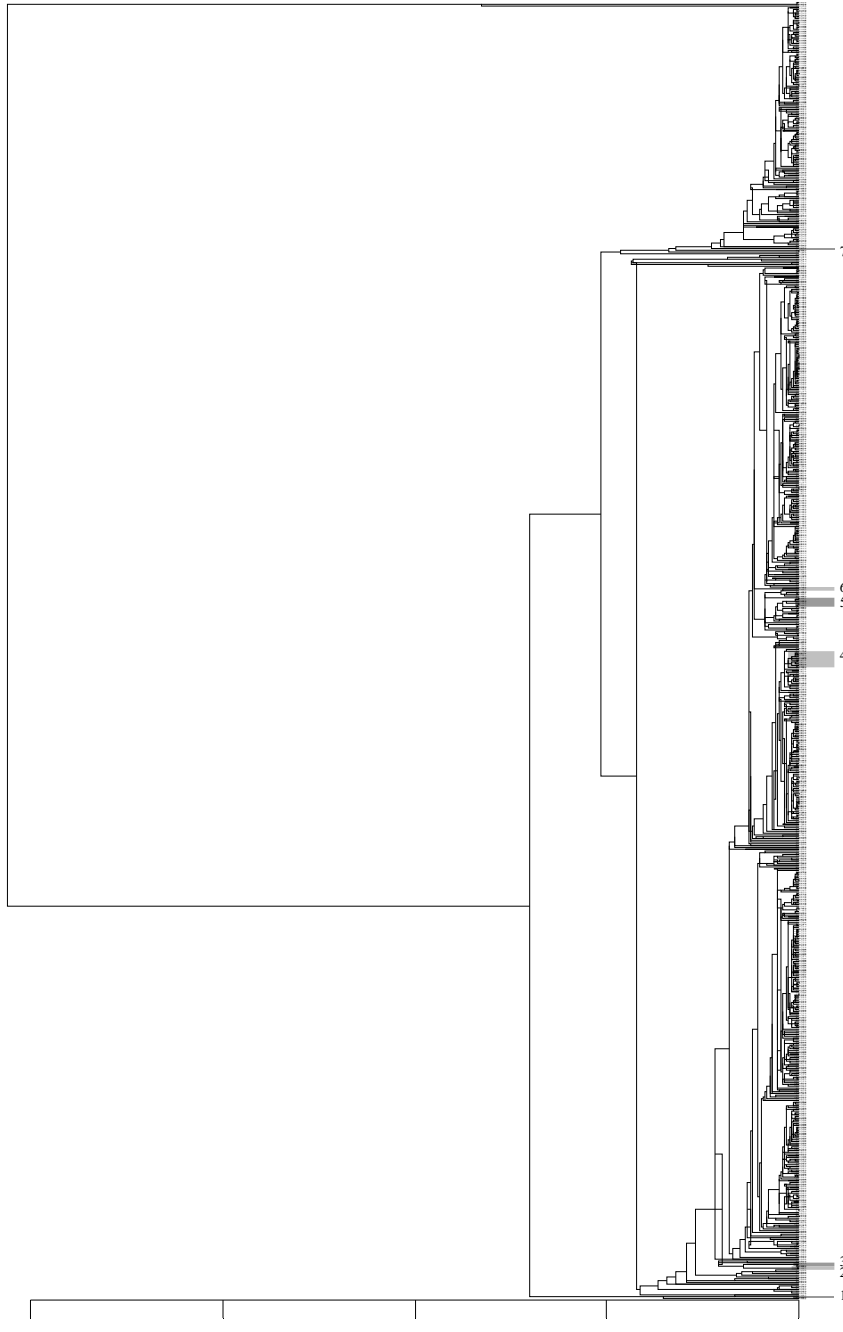
a aquest tipus amforal. Finalment, es constata que els individus Laietana 1/Tarraconense 1 EMP070, EMP071, EMP072, EMP073 i EMP082 haurien estat fabricats com a part del grup MUJ-B2.

La relació dels individus d'*Emporiae* que han estat afiliats a un grup químic definit prèviament en un centre productor es presenta en la Taula 76. D'altra banda, les URCP a les quals hi apareixen individus procedents d'aquest centre receptor es presenten a la Taula 77.

### **10.5 Palma (Palma)**

L'estudi de provenença química de les àmfores recuperades en el centre receptor de *Palma* ha repetit el procediment realitzat per als centres d'*Iluro* i *Emporiae*, efectuant una anàlisi d'agrupament sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Y}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Ce}$ ,  $\text{Ga}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Ni}$  i  $\text{Cr}$ , emprant el  $\text{SiO}_2$  com a divisor en la transformació de les dades en logaritmes de raons, i emprant la distància Euclidiana al quadrat com a distància entre individus i l'algoritme aglomeratiu del centroïde. El dendrograma que resumeix l'anàlisi estadística es presenta en la Figura 169. En aquest cas les primeres agrupacions d'esquerra a dreta del dendrograma corresponen a unitats de referència composicioanal de pasta (URCP-1 a URCP-3). La primera agrupa dos individus Dressel 1 procedents de *Palma* (CMA009, CMA020). La segona està formada també per dos individus recuperats en aquest centre receptor, una àmfora Greco-itàlica (CMA013) i una Dressel 1 (CMA019). Finalment, la tercera agrupa dues Laietana 1/Tarraconense 1 de *Palma* (CMA027, CMA028). Aquestes URCP apareixen indicades en el dendrograma respectivament amb els números 1-3.

A continuació es defineix una agrupació en la qual els individus Pascual 1 de *Palma* CMA024 i CMA026 formen part clarament d'un grup representatiu de la pasta definida com a C1 provinent del centre productor de Ca l'Arnau (Martínez 2008: 307-316) i en el qual també s'hi afegeixen altres individus Pascual 1 de les ciutats d'*Emporiae* (EMP109), *Iluro* (PAL069, PAL066), *Baetulo* (MRC00A) i *Vesunna Petrucoriorum* (PFR011).



**Figura 169.** Dendrograma resultant de l'anàlisi de conglomerats dels 984 Ic del projecte PRODIFAN, emprant la distància euclidiana al quadrat i l'algoritme aglomeratiu del centroide sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, utilitzant el  $\text{SiO}_2$  com a divisor. Les agrupacions estan enumerades de manera correlativa seguint l'ordre exposat en el text.

Finalment, cal destacar d'aquest conjunt les importants similituds que mostren els individus d'àmfora Greco-itàlica de *Palma* (CMA001-CMA004) amb les Dressel 1 d'*Iluro* (PAL061, PAL097, PAL098) (URCP-4). De fet aquest és la unitat de referència composicional de pasta més similar de totes les identificades entre els centre receptors en estudi.

Així mateix, destaca la similitud entre l'individu Dressel 1 de *Palma* CMA015 i la Pascual 1 d'*Iluro* PAL104 (URCP-5), així com l'existent entre les Dressel 1 de *Palma* CMA005 i CMA008.

La relació dels individus d'*Emporiae* que han estat afiliats a un grup químic definit prèviament en un centre productor es presenta en la Taula 78. D'altra banda, les URCP a les quals hi apareixen individus procedents d'aquest centre receptor es presenten a la Taula 79.

# CAPÍTOL 11

---

## CONCLUSIONS

**E**n aquest apartat es presenten un total de sis grans proposicions amb caràcter de conclusió general, interrelacionades entre sí, i que ofereixen una primera visió del fenomen del canvi tecnològic en els envasos amforals en estudi. Aquestes conclusions queden reforçades per les ja exposades al final de cada un dels apartats en què s'ha tractat de manera específica la caracterització dels materials i que no necessiten tornar a ésser repetides en aquest punt.

**1. Les produccions amforals estudiades en aquest treball són el resultat d'un model de producció en què tant les matèries primeres com el seu tractament en la preparació de les pastes no es reproduïx de manera uniforme al llarg del període de funcionament dels tallers.** El resultat del tractament estadístic sobre la subcomposició química de les pastes analitzades suggereix un procés caracteritzat per un grau d'homogeneització relativament baix. En el cas específic de les àmfores recuperades en els centres productors, s'observa que la tendència general és caracteritzada per grups químics amb uns individus que delimiten els seus extrems, però que entre aquests extrems s'exhibeix tot un seguit de subcomposicions la variabilitat de les quals sembla afectar de manera aparentment arbitrària a diferents elements. No obstant això, s'ha demostrat que és possible discriminar produccions representatives de diferents

tallers, fins i tot en els casos en què els centres es troben emplaçats a poca distància un de l'altre i en un contexte geoquímic molt similar. Aquest seria el cas, per exemple, de les produccions dels tallers del C/ de Guillem de Palafolls (Malgrat de Mar) i d'El Mujal (Calella), els quals disten un de l'altre poc més de 7 Km de distància. En aquest mateix sentit, s'han constatat casos en què les diferències composicionals entre les produccions de diferents tallers són menors a les existents entre les produccions d'un mateix taller. Aquest fet explica, d'una banda, el nombre relativament gran d'individus que romanen sense que puguin ésser afiliats clarament a una agrupació i, d'altra, apunta la necessitat d'incrementar el número de mostres per a una identificació més acurada de la diversitat de produccions que finalment han estat constatades a cada taller. Aquestes mateixes consideracions són vàlides per als conjunts recuperats en els centres receptors.

L'experiment de remostreig aleatori basat en la combinació del mètode Monte Carlo i *jackknife* ha demostrat ser un procediment d'especial utilitat en l'avaluació de la variabilitat química. Concretament, s'ha demostrat profitós tant pel que fa a l'avaluació de la influència dels diferents components en la subcomposició global dels individus com en la comparació de la variabilitat exhibida pels centres productors i receptors, així com en les diferències existents respecte d'altres produccions ceràmiques (en el nostre cas concret, *terra sigillata*). Un gran avantatge de la metodologia emprada és la identificació dels individus que formen cada un dels subconjunts generats. Atès que s'han identificat causes diferents que imposen una alta variabilitat als conjunts amforals —no sols les relacionades amb el procés poc estandarditzat de preparació de les pastes, sinó també relacionades amb processos d'alteració i contaminació, així com amb una diversitat de produccions superior al nombre de centres caracteritzats—, la indentificació específica dels individus que aporten una major variabilitat al subconjunt seleccionat, facilita la recerca de les causes explicatives d'aquesta variació. L'aplicació conjunta d'aquests procediments permet reconèixer ràpidament els individus concurrents en els subconjunts que presenten una major variabilitat i, a partir d'aquí, corroborar amb relativa facilitat si les observacions atípiques són degudes a possibles processos d'alteració i/o contaminació en determinats individus, o bé a l'existència de diferències significatives en la seva composició global, indicant diversitat de provinences o de tecnologies. De manera anàloga, la metodologia emprada permet identificar



concretament els individus sense els quals la variabilitat del conjunt augmenta, o el que és el mateix, aquells que presenten majors similituds composicionals amb la resta.

Un altre punt destacable és la constatació de l'especial sensibilitat del número de mostres analitzades en la representativitat dels conjunts amforals; en general, s'observa que a partir de 30, i molt especialment de 50 individus, es millora considerablement l'aparentment representativitat dels centres productors. Aquest resultat suggereix clarament la importància d'analitzar el major nombre de mostres possibles per tal d'aconseguir una caracterització acurada d'aquest tipus de tecnologia ceràmica, molt especialment alhora d'establir els grups de referència química per a cada producció identificada en els centres productors. Així mateix, s'ha demostrat que l'estudi de la simetria dels gràfics de caixa i bigotis permet obtenir informació valuosa sobre la proporció dels grups químics existents en el conjunt de l'estructura.

D'altra banda, el procediment de remostreig aleatori d'individus ha permès comparar la variabilitat química característica d'aquestes produccions amforals amb la d'una altra tecnologia ceràmica de cronologia similar: *terra sigillata*. Els resultats mostren com, fins i tot amb l'existència de processos d'alteració i contaminació en un nombre important d'individus de TSI i TSH, la variació química exhibida per aquests conjunts és clarament menor al dels conjunts amforals. Els resultats són clarament indicatius de l'existència d'un gran grup d'individus amb una homogeneïtat química relativament alta com a resultat, en bona mesura, d'un procés tecnològic de fabricació en què semblen mantenir-se força estables les receptes de les pastes argiloses. Així, en termes de variabilitat química, els conjunts analitzats d'àmfores mostren una imatge completament diferent, amb unes variabilitats relativament més altes, però sobretot, amb uns grups químics que es defineixen d'una manera molt menys clara, a conseqüència d'un procés de preparació i manteniment de les receptes de pasta molt menys estandarditzat. La interpretació d'aquestes diferències posa èmfasi en els factors de situació en els quals tenen lloc els processos de producció, distribució i consum, així com la cadena de comportament en què s'inscriuen aquestes dues tecnologies. Certament, la *terra sigillata* es considera un producte produït amb un valor propi, en el sentit que el seu valor en el mercat és inherent, a diferència de les àmfores que no compten amb aquest valor inherent, sinó que és el seu contingut el producte que

finalment fixa un determinat preu. Junt a això convé tenir present, a més, el fet que l'expectativa normal que s'espera d'un envàs de transport és, en qualsevol cas, molt menor a la que s'hauria d'esperar de qualsevol peça d'un servei de vaixella. I també són diferents les activitats i els contextos en els quals es produeixen les exhibicions d'aquestes tecnologies, malgrat que ambdues operen efectivament com a part del discurs simbòlic de l'Imperi romà. Així, les àmfores, a diferència del que succeeix, per exemple, amb la vaixella de taula, podrien ésser considerades com un exemple clar de tecnologia subsidiària i que, per tant, no representarien l'objecte sobre el qual s'hauria centrat l'atenció del consum en el mercat. En aquest sentit, cal centrar l'atenció en l'únic llistat de preus relatius als artefactes ceràmics que ens ha arribat d'època romana: *Edictum Diocletiani et collegarum de pretiis rerum venalium*. Aquest document (veure Peña 2007) representa un decret de l'any 301 d.C en virtut del qual s'estableixen una sèrie de preus màxims de diversos béns i serveis disponibles al llarg de l'imperi romà. Les evidències d'aquest decret indiquen clarament que el valor d'una àmfora sols representava una proporció molt reduïda del valor del seu contingut. Concretament, s'estableixen preus de 8, 16, 20, 24 i 30 *denarii comunes* per un *sextarius* (volum aproximat 0.546 l) de vi de diverses qualitats, el que representa que per a un envàs ple de vi un valor d'entre 1.67 i 6.25% el preu del seu contingut. De manera similar, el conjunt de papirs procedents del districte administratiu de Theadelphia (Egipte) datats de mitjans del segle III dC indiquen unes proporcions semblants. En aquest cas, per a la venda d'àmfores a l'engròs s'estableix un preu que representa entre el 0.5 i l'1.3% del preu de venda a l'engròs del vi destinat a ser transportat en els mateixos envasos.

Aquesta conjunció de factors permet suggerir que les altes variabilitats observades en les produccions amforals podrien deure's, en bona mesura, a un procés de producció en què l'estandardització d'una recepta de pasta no seria quelcom indispensable, ans al contrari, podria haver resultat contraproduent en un context en el qual els beneficis econòmics no derivarien directament de la transacció d'aquests envasos. En aquest sentit, resulta evident que la reducció dels costos de producció es tradueix, en la gran majoria de casos, en un augment de beneficis. Per tant, aquest comportament també seria lògicament esperable en la producció no sols també de la *sigillata*, sinó en qualsevol altre tipus de tecnologia o servei que prengui part de les

transaccions de qualsevol mercat. Ara bé, el que sembla desprendre's dels resultats obtinguts és que, en el cas de les àmfores, aquesta hauria estat una estratègia completament necessària per al desenvolupament d'aquesta activitat econòmica que representà la producció i distribució de vi durant el període baix-republicà i alto-imperial. En aquest context, sembla poder-se deduir que hi hauria un intent per aconseguir un compromís entre la necessitat de minimitzar la inversió necessària per a la producció d'una àmfora i obtenir un envàs amb un mínim de qualitat tècnica capaç de suportar les condicions de transport. Malgrat això, és clara també l'existència de diferents models tecnològics que semblen estar correlacionats amb diferents substrats preromans.

**2. La major part de la variabilitat exhibida en la composició química dels centres productors s'explica per l'existència de dues tecnologies ceràmiques que configuren dos models diferents en funció del tipus de pasta emprada en la confecció dels envasos;** un model caracteritzat per l'ús exclusiu de pastes poc calcàries (model A) i un altre que fa servir conjuntament pastes poc calcàries i pas calcàries (model B). El model A està representat per les produccions dels centres productors de Can Notxa, El Mujal, C/ de Guillem de Palafolls, i Fenals, mentre que el model B representa les produccions dels centres productors del Collet de Sant Antoni de Calonge i de Llafranc. És interessant remarcar el fet que tots els tallers es localitzen en un marc geològic molt similar i que l'estudi del context geològic de l'àrea més immediata dels centres productors, situada dins d'un radi d'un quilòmetre de distància, mostra que no hi ha cap indicatiu clar que permeti pensar que les diferències en el contingut en CaO puguin ésser el resultat de la diferent ubicació dels tallers. Tanmateix, hi ha un altre aspecte que sembla interessant apuntar i que podria estar relacionat amb les diferències observades. Mentre que els centres productors de Can Notxa, El Mujal, C/ de Guillem de Palafolls i Fenals se situen en el que hauria estat, abans de la conquesta romana, el territori polític dels laietans, els centres productors del Collet de Sant Antoni de Calonge i de Llafranc es localitzen dins del que havia estat el territori polític dels indigetes. Així, s'interpreta que les diferències observades en relació a aquest aspecte de la tecnologia de producció ceràmica puguin ésser el resultat d'un intent premeditat per produir uns productes

ceràmics amb propietats físiques i competències diferenciades, o bé el reflex de diferents tradicions tecnològiques relacionades amb el diferent substrat ibèric preromà. Aquesta darrera possibilitat estaria en consonància amb els resultats obtinguts recentment per Tsantini (2007) en el seu estudi arqueomètric d'àmfores ibèriques i on es constata que les produccions de l'àrea laietana representen bàsicament pastes poc calcàries, mentre que en l'àrea indigeta es documenta una producció fonamentalment calcària.

A més del que s'ha exposat, els dos models de produccions amforals romanes mostren diferents trets característics. Les dades referents al model A, que representa produccions exclusivament a partir de pastes poc calcàries, deixen entreveure l'ús de diferents pastes argiloses per a la confecció dels diferents dissenys amforals però sense un criteri tècnic aparent. Així, en el cas del centre productor d'El Mujal s'han identificat fins a un total de sis pastes diferents, tres de les quals foren emprades per a la manufactura en exclusiva d'amfores del tipus Laietana 1/Tarraconense 1, i la resta per a la producció de Pascual 1. De manera similar, el centre del C/ de Guillem de Palafolls va fer servir com a mínim tres pastes diferents, dues per a la producció exclusiva del tipus Pascual 1 i una tercera emprada fonamentalment per a la confecció d'amfores Dressel 2-4. Aquesta mateixa tendència s'identifica entre les produccions de Fenals; de les cinc pastes diferents identificades, una representa de manera pràcticament exclusiva les àmfores del tipus Dressel 2-4, mentre que la resta foren emprades en la confecció del tipus Pascual 1. Malauradament, en el cas de Can Notxa el limitat nombre de mostres analitzades no permet extreure conclusions tan fermes. No obstant, s'ha pogut demostrar que aquest centre va produir tant Laietana 1/Tarraconense 1 com Pascual 1. Per tant, assumint una producció sincrònica en funció de les dades estratigràfiques, entenem que aquestes diferències en les maneres de fer indicarien l'existència de diferents actors responsables de la producció de cada disseny, en relació a un contingut també diferenciat.

Contràriament, les produccions representatives del model B no segueixen el mateix patró, en tant que el canvi en el disseny de les àmfores aparentment no s'acompanya d'un canvi en el tipus de pasta argilosa. En el cas concret del Collet de Sant Antoni de Calonge, s'ha documentat una producció minoritària de pastes poc

calcàries que s'haurien emprat per a la confecció en exclusiva de Pascual 1, així com una mateixa pasta calcària emprada conjuntament en la fabricació dels tipus Laietana 1/Tarraconense 1, Pascual 1 i Oberaden 74. De manera similar, a Llafranc s'identifica una producció també minoritària de Pascual 1 a partir d'una pasta poc calcària, així com una producció majoritària d'una pasta calcària a partir de la qual es fabricaren conjuntament els tipus Pascual 1 i Dressel 7-11. En tot cas, el nombre de mostres representatives dels diferents dissenys havia de ser ampliada per tal de corroborar aquestes primeres observacions.

### **3. Les temperatures de cocció de les àmfores també es caracteritzen una important variabilitat, però amb clares diferències entre els centres productors i els centres receptors.**

La mida de les àmfores en estudi, les quals foren manufacturades en massa, és a dir, produint un elevat nombre d'individus en un període relativament curt de temps, suggereix que varen ésser cuites dins de forns d'unes dimensions relativament grans. Així ho corroboren les evidències arqueològiques disponibles sobre els centres productors caracteritzats en aquest treball, així com la documentació disponible sobre altres centres productors dels mateixos dissenys amforals (Peacock i Williams 1986; Peña 2007; Revilla 1995). En aquest sentit, s'ha de considerar significativament més difícil la tasca d'assolir una atmosfera de cocció més uniforme en un forn de grans dimensions que en un de petit. Així, en un intent lògic d'assegurar que la major part dels envasos disposats en l'interior del forn assolissin un règim de cocció mínimament adient per a produir uns productes consistents, hauria estat necessari exposar una part de la fornada a temperatures de cocció més altes del que seria necessari en relació a la resistència a la fractura del material, cosa que resultaria en una proporció de rebuigs de cocció relativament important. Aquesta assumpció permetria explicar els resultats obtinguts en l'estudi de les TCE de les àmfores procedents dels centres productors, en què s'identifica un rang ampli de TCE junt a un nombre important d'individus que es poden considerar com el resultat de sobrecoccions i, en menor mesura, sobrecoccions severes o molt severes. En canvi, les àmfores que provenen dels centres receptors mostren un patró diferent. En aquests casos també hi ha una important variabilitat de TCE, cosa que permet concloure que es consideraven aptes per al transport, no sols els

envasos que representen el que es considera un rang de temperatura propi d'una bona cocció (850/950-1000°C), sinó també aquells que varen ser cuits clarament a baixes temperatures (<850°C). Ara bé, tot i aquesta variabilitat, és significativa la poca presència d'àmfores cuites a altes temperatures (>1000°C), a diferència del que ocorre en els centres productors. Per tant, es dedueix que les àmfores que havien patit sobrecoccions severes no s'haurien considerat adients per al transport de vi, al menys a mitja i llarga distància, en un intent premeditat d'assegurar que el contingut arribés als mercats finals.

Centrant l'atenció en els centres productors en particular s'observen diferents dinàmiques. Un altre aspecte interessant a destacar és que els majors percentatges d'individus cuits a altes temperatures es corresponen a les produccions calcàries del model B, mentre que les TCE de les produccions poc calcàries del model A se situen majoritàriament per sota dels 1000°C. Entre aquestes destaca el cas d'El Mujal on hi ha un model diferenciat de TCE per als dos dissenys analitzats. Així, mentre que per a la majoria de Pascual 1 s'estimen unes TCE superiors al rang 850-950 °C, la pràctica totalitat dels individus Laietana 1/Tarraconense 1 se situen clarament per sota d'aquest rang. Això s'explicaria pel fet que les àmfores Laietana 1/Tarraconense 1 presenten una granulometria generalment més fina i que, per tant, amb temperatures de cocció relativament més baixes es podrien assolir productes d'adequada consistència mecànica, com així ho demostra el fet que el material ceràmic que presenta majors valors de resistència a la fractura correspon a diferents individus d'aquest disseny amforal.

Tanmateix, no sembla que hi hagués un intent de mantenir constants unes propietats mecàniques determinades o, més concretament, sembla que aquestes propietats podien moure's en un rang relativament ampli, el que explicaria que els individus dels centres receptors, per als quals s'assumeix que haurien superat satisfactòriament el criteri d'idoneïtat establert en la producció, així com, molt especialment, el de l'adquisició o consum i la distribució, presenten uns valors de resistència molt variables —des de valors baixos fins a valors alts. En qualsevol cas, aquestes consideracions tenen per objecte les propietats físiques del material amb què foren fabricades les àmfores i no les competències tècniques específiques de tot l'envàs.

**4. Els dissenys amforals no tenen el mateix comportament en ser emprats com a envàs de transport.** A partir de les condicions simulades per ordinador s'ha demostrat que els dissenys romans presentarien un millor comportament en comparació al disseny d'àmfora ibèrica. Igualment, s'ha demostrat que el disseny Dressel 1 no respondria satisfactòriament a les condicions simulades, a diferència dels tipus Laietana 1/Tarraconense 1 i Pascual 1, que mostren un comportament mecànic d'alt rendiment. A partir dels resultats obtinguts és clar que l'ús dels dissenys Laietana 1/Tarraconense 1 i Pascual 1 com a envasos de transport tindria molts més avantatges respecte el disseny Dressel 1. I més encara, les dades obtingudes permetrien considerar el disseny concret de la Laietana 1/Tarraconense 1 com l'envàs ideal per al transport marítim, amb més avantatge aparents respecte els altres models. A part de l'extraordinari comportament que, en termes d'enginyeria mostra el disseny per sí mateix, aquest tipus amforal està produït a partir d'un material ceràmic que presenta els valors de resistències a la fractura més elevats dels individus estudiats. A més, les seves característiques granulomètriques impliquen que per aconseguir uns materials d'aquestes característiques no es requeririen temperatures de cocció tan elevades com amb altres pastes. Així mateix, aquest disseny és el que mostra la millor relació entre el pes de l'envàs buit i el seu volum, aspecte que s'hauria de considerar especialment rellevant en el context de la transacció comercial. A més, tampoc s'ha de deixar de banda que, junt amb el disseny Pascual 1, representa les noves produccions dels territoris de la Tarraconensis que comencen a substituir les importacions de vi italià que havien copsat els mercats sobre les províncies occidentals fins la fi de la República. I és precisament aquest factor el que té un pes clau en l'explicació del fenomen de canvi tecnològic que ens ocupa. Certament, la creació dels tipus Laietana 1/Tarraconense 1 i Pascual 1 impliquen l'irrupció en el mercat de nous dissenys amb unes competències tècniques que milloren el disseny romà per excel·lència, Dressel 1. És més, en funció de les dades obtingudes per l'AEF interpretem que les deficiències en el comportament d'aquest disseny durant l'estiba en un vaixell hauria de ser un dels factors a examinar per a una aproximació a les causes de l'enfonsament de les naus carregades amb aquestes àmfores, especialment en el cas de grans carregaments amb envasos apilats en diverses fileres. Però la millora tècnica no explica per sí mateixa el fenomen del canvi; el més important per entendre

les causes subjacents són el quan i sobre tot on es produeix.

**5. El fet que el canvi es produeix a la perifèria és consistent amb la predicció del model teòric.** El model presentat parteix de la premisa que els individus tenen preferències sobre l'estat de les coses, però també sobre les seves pròpies valoracions o creences sobre l'estat de les coses. En funció d'això es pot deduir que els individus tindran més tendència a evitar l'exposició a dades noves que contradiguin el seu sistema de creences o valoracions. Sense entrar a valorar si es va produir la identificació conscient de les deficiències del disseny Dressel 1 en condicions d'estiba per parts dels actors involucrats en la seva producció i el seu consum, el que s'ha de concloure és que la situació existent en el context colonial del canvi d'Era hauria generat les condicions necessàries per a que aquesta proposició tingués efectes severos en tant que afecta a un dels símbols representatius de Roma i que configura una part important de l'entramant simbòlic i de representació de poder en un moment d'expansió del poder real per la Mediterrània. En canvi la situació en la perifèria és completament diferent. Es tracta de l'establiment de nous emplaçaments i de la creació de noves explotacions agràries allunyades del centre de l'imperi però gestionades pels seus membre que, per la seva banda, també han de seguir amb la reproducció dels sistemes complexos de representació de poder en els nous territoris. I precisament aquesta és la raó per la qual s'han de donar a conèixer i s'han de presentar de manera diferenciada amb l'objectiu segur, entre d'altres, d'assolir un bon posicionament fonamentalment en els mercats de les províncies occidentals. És precisament aquí on entra en joc la creació dels nous dissenys amforals que en aquest cas concret resulten, a més, en un millor rendiment des del punt de vista de l'enginyeria d'un envàs de transport.

La nostra proposta teòrica proporciona, a més, una nova explicació del caràcter conservador que s'acostuma a conferir en general a la tecnologia ceràmica. Els models conductuals posen èmfasi en què la modificació d'una elecció tècnica pot afectar diverses competències d'un artefacte. En funció de les proposicions exposades els períodes de estabilitat es poden entendre com un mecanisme natural d'evitar l'exposició a dades que potencialment són contràries al sistema de creences establert. Consideram que també són importants l'aplicació d'aquestes consideracions en relació a com afecta



als propis investigadors i a la manera en què es genera coneixement des de la mateixa disciplina arqueològica

**6. El conjunt dades exposades són consistents amb la tendència que s'observa en la distribució i consum dels envasos.** En els centres receptors es troben també representades les diverses tecnologies ceràmiques, amb àmfores poc calcàries, lleugerament calcàries, calcàries i altament calcàries, que representen la pràctica totalitat dels dissenys caracteritzats. No obstant, es constata la necessitat d'incrementar el nombre d'individus caracteritzats tant en els centres productors com en els receptors per a obtenir una imatge més acurada de l'abastiment d'aquests productes en tant que encara romanen un gran nombre d'individus sense classificar. Concretament, a *Iluro* han estat agrupats bé en URCP bé afiliats a centres productors identificats un total de 37 individus sobre 48, és a dir, un 77.08% dels individus analitzats han estat agrupats mentre que un 21.92% roman sense classificar i només un 33.33% ha estat afiliat a un possible centre productor. En el cas del centre receptor de *Palma* han estat agrupats bé en URCP bé afiliats a centres productors identificats un total de 15 individus de 31, és a dir, un 48.38% dels individus analitzats han estat agrupats mentre que un 51.62% roman sense classificar i només un 6.45% s'ha afiliat a un possible centre productor. Finalment, a *Emporiae* s'han agrupat bé en URCP bé afiliats a centres productors identificats un total de 15 individus de 31, és a dir, un 44.68% dels individus analitzats han estat agrupats mentre que un 55.32% roman sense classificar i només un 29.78% s'ha afiliat a un possible centre productor.

En termes de provenença s'interpreta l'existència de dos models diferenciats. El primer està representat pel centre receptor d'*Iluro* el qual estaria subministrat pels tallers de l'àrea més propera, a diferència del que ocorre amb *Emporiae* que rebria produccions d'un major nombre de centres productors, des del situat més al sud (Can Notxa, i també el cas del Vilarenc fins el nord, Sant Antoni de Calonge). En tot cas es constata una distribució que recorre l'eix en direcció de sud a nord. El cas de *Palma* és diferent als altres centres receptors en tant que hi ha pocs individus afiliats a centres productors. En tot cas destaca el fet d'haver dues clares URCP amb materials procedents d'*Iluro* de cronologies similars (Dressel 1 i Greco-itàliques).

## BIBLIOGRAFIA

- Acevedo Díaz, J. A., 1996, La tecnología en las relaciones CTS. Una aproximación al tema, *Enseñanza de las Ciencias*, **14**, 1, 35-44.
- Acevedo Díaz, J. A., Vázquez Alonso, Á., Manassero Mas, M. A. i Acevedo Romer, P., 2003, Creencias sobre la tecnología y sus relaciones con la ciencia, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, **2**, 3, 1-24.
- Adam, J., 1996, *La construcción romana. Materiales y técnicas*, Editorial de los Oficios, Lleó.
- Adserias Sans, M. i Ramón Sariñena, E., 2004, La vil·la romana del Vilar (Valls, Alt Camp), *Quaderns de Vilaniu*, **45**, 5-18.
- Aguarod Otal, M. C., 1992, Una ánfora Tarraconense 1/Laietana 1 con sello ibérico procedente de Salduie, *Boletín del Museo de Zaragoza*, **11**, 109-116.
- Aitchison, J., 1982, The statistical analysis of compositional data (with discussion), *Journal of the Royal Statistical Society*, **44**, 139-177.
- Aitchison, J., 1986, *The Statistical Analysis of Compositional Data*, Monographs on Statistics and Applied Probability, Chapman and Hall, Londres.
- Aitchison, J., 1992, On criteria for measures of compositional difference, *Mathematical Geology*, **24**, 365-379.
- Aitchison, J., 1997, The one-hour course in compositional data analysis or compositional data analysis is easy, a *Proceedings of the Third Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology* (ed. V. Pawlowsky-Glahn), 3-35, **1**, CIMNE, Barcelona.
- Aitchison, J., Barceló-Vidal, C. i Pawlowsky-Glahn, V., 2002, Some comments on compositional data analysis in Archaeometry, in particular the fallacies in Tangri an Wright's dismissal of logratio analysis, *Archaeometry*, **44**, 295-304.
- Akerlof, G. A. i Dickens, W. T., 1982, The economic consequences of cognitive dissonance, *The American Economic Review*, **72**, 3, 307-319.
- Akin, J. E., 1986, *Finite Element Analysis for Undergraduates*, Academic Press, Londres.
- Amouretti, M.-C., 1998, Les agronomes antiques: De la viticulture à vinification, a *El Vi a l'Antiguitat. Economia, Producció i Comerç al Mediterrani Occidental, Actes del II Col·loqui d'Arqueologia Romana (6-9 de maig de 1998)* (ed. M. Comas i P. Padró), 15-28, Monografies Badalonines, **14**, Museu de Badalona, Badalona.
- Anderson, R. L., 1987, *Practical Statistics for Analytical Chemistry*, Van Nostrand-Reinhold, Nova York.
- Andreau, J., 1999, *Banking and Business in the Roman World*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Andreau, J., 2000, Commerce and finance, a *The Cambridge Ancient History. The High Empire, A.D. 70-192* (ed. A.K. Bowman, P. Garnsey i D. Rathbone), 769-787, **XI**, Cambridge University Press, Cambridge.
- Andreu, I., 1994, Troballes arqueològiques submarines del Maresme. Materials dipositats en el Museu de Premià de Mar, *Laietania*, **9**, 361-370.
- Annis, M. B., 1985, Resistance and change: Pottery manufacture in Sardinia, *World*

- Archaeology*, **17**, 2, 240-255.
- Annis, M. B., Jacobs, L. i Docter, R. F., 1995, Archaic commercial amphorae from Carthage: A technological analysis, *Newsletter: Department of Pottery Technology*, **13**, 53-80.
- Appadurai, A., 1986, *The social life of things: Commodities in cultural perspective*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Aquilué Abadías, X., Castanyer i Masoliver, P., Santos Retolaza, M. i Tremoleda i Trilla, J., 2002, *Memòria de la Intervenció Arqueològica Realitzada l'Any 1999 a la Ciutat Romana d'Empúries (L'Escala, Alt Empordà)*, Servei d'Arqueologia del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, **3798**, Barcelona (inèdit).
- Aquilué Abadías, X., Castanyer i Masoliver, P., Santos Retolaza, M. i Tremoleda i Trilla, J., 2007, Empúries: Evolució històrica de la recerca, *Revista de Girona*, **244**, 81-85.
- Arnold, D. E., 1980, Localized exchange: An ethnoarchaeological perspective, a *Models and methods in regional exchange* (ed. R.E. Frey), 147-150, **1**, Society for American Archaeology, Washington.
- Arnold, D. E., 1981, A model for the identification of non-local ceramic distribution: A view from the present, a *Production and Distribution: A Ceramic Viewpoint* (ed. H. Howard i E. Morris), 32-44, BAR International Series, **120**, Archaeopress, Oxford.
- Arnold, D. E., 1985, *Ceramic Theory and Cultural Process*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Arnold, D. E., 1993, *Ecology of Ceramic Production in an Andean Community*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Arnold, D. E., 1999, Advantages and disadvantages of vertical-half molding technology: Implications for production organization, a *Pottery and People. A Dynamic Interaction* (ed. J.M. Skibo i G.M. Feinman), 59-80, Foundation of Archaeological Inquiry, The University of Utah Press, Salt Lake City.
- Arnold, D. E., Neff, H. i Bishop, R. L., 1991, Compositional analysis and "sources" of pottery: An ethnoarchaeological approach, *American Anthropologist*, **93**, 1, 70-90.
- Arnold, D. E., Neff, H. i Glascock, M. D., 2000, Testing assumptions of neutron activation analysis: Communities, workshops and paste preparation in Yucatan, Mexico, *Archaeometry*, **42**, 2, 301-316.
- Arnold III, P. J., 1999, On typologies, selection, and ethnoarchaeology in ceramic production studies, a *Material Meaning: Critical Approaches to the Interpretation of Material Culture* (ed. E.S. Chilton), 103-117, University of Utah Press, Salt Lake City.
- Arnold III, P. J., 2000, Working without a net: Recent trends in ceramic ethnoarchaeology, *Journal of Archaeological Research*, **8**, 105-133.
- Aronson, E., 1992, The return of the repressed: Dissonance theory makes a comeback, *Psychological Inquiry*, **3**, 4, 303-311.
- Aronson, E., 1999, *The Social Animal*, Worth Publishers, Nova York.
- Arsuaga, J. L., 2001, *El Enigma de la Esfinge. Las Causas, el Curso y el Propósito de la Evolución*, Areté, Plaza & Janés, Barcelona.

- Artigues, P. L. i Rigo Jovells, A., 2002, *Castellarnau (Sabadell). Evolució d'un nucli rural del segle I aC al segle VI dC*, Quaderns d'Arqueologia, **2**, Sabadell.
- Asensio i Vilaró, D. i Martín i Menéndez, A., 1998, El derelict de Bon Capó (L'Ametlla de Mar): L'inici de l'expansió de vi italià a la Península Ibèrica, a *El Vi a l'Antiguitat. Economia, Producció i Comerç al Mediterrani Occidental, Actes del II Col·loqui d'Arqueologia Romana (6-9 de maig de 1998)* (ed. M. Comas i P. Padró), 138-150, Monografies Badalonines, **14**, Museu de Badalona, Badalona.
- Asensio i Vilaró, D. i Otiña Hermoso, P., 2002, Àmfores d'importació i comerç en època ibèrica (segles V-I a.C.) a la zona del Camp de Tarragona, a *Contactes i Relacions Comercials entre la Catalunya Meridional i els Pobles Mediterranis durant l'Antiguitat* (ed. J. Diloli i J. Rovira), 93-128, Citerior. Arqueologia i Ciències de l'Antiguitat, **3**, Arola editors, Tarragona.
- Ashby, M. F., 1992, *Materials Selection in Mechanical Design*, Pergamon Press, Oxford.
- ASTM, 1989, American Society for Testing and Materials, C 769-780.
- ASTM, 1990, American Society for Testing and Materials, C 1161.
- ASTM, 1991, American Society for Testing and Materials, C 1198.
- Badia, J., 1966, Hallazgo de ánforas romanas en Llafranc (Gerona), *Ampurias*, **28**, 265-266.
- Badia, J., 1977, *L'Arquitectura Medieval de l'Empordà*, vol. I, Diputació Provincial de Girona, Girona.
- Bailey, K. D., 1994, *Typologies and Taxonomies. An Introduction to Classification Techniques*, Sage University Paper Series on Quantitative Applications in the Social Sciences, 07-102, Thousand Oaks, CA.
- Balfet, H., 1965, Ethnographical observations in north Africa and archaeological interpretations: The pottery of the Maghreb, a *Ceramics and man* (ed. F.R. Matson), 161-177, Aldine Publishing Company, Chicago.
- Balfet, H., 1984, Methods of formation and the shape of pottery, a *The Many Dimensions of Pottery* (ed. S.E. Van der Leeuw i A.C. Pritchard), 171-201, Universiteit van Amsterdam, Amsterdam.
- Bamforth, D., B., 2002, Evidence and metaphor in evolutionary archaeology, *American Antiquity*, **67**, 3, 435-452.
- Barnes, B., 1974, *Scientific Knowledge and Sociological Theory*, Routledge and Kegan Paul, Londres.
- Barone, G., Lo Giudice, A., Pezzino, A., Mazzoleni, P., Barilaro, D., Crup, V. i Triscari, M., 2005, Chemical characterization and statistical multivariate analysis of ancient pottery from Messina, Catania, Lentini and Siracusa (Sicily), *Archaeometry*, **47**, 4, 745-762.
- Barrasetas, E. i Monleón, A., 1994, *Memòria de la Intervenció Arqueològica al Jaciment "Mas Manolo" (Caldes de Montbui, Vallès Oriental). Octubre de 1992-Març de 1993*, Servei d'Arqueologia del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, Barcelona (inèdit).
- Barti i Català, A. i Plana i Mallart, R., 1989, Noves aportacions a l'estudi del jaciment romà de Llafranc, *Cypsela*, **7**, 137-147.
- Barti i Català, A. i Plana i Mallart, R., 1993, La terrisseria d'època romana de Llafranc

- (Palafrugell, Girona), *Cypsela*, **10**, 87-99.
- Barti i Català, A., Plana i Mallart, R. i Tremoleda i Trilla, J., 2004, *Llafranc Romà*, Quaderns de Palafrugell, Diputació de Girona, Girona.
- Basalla, G., 1988, *Evolution of technology*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Bauchspies, W. K., Croissant, J. i Restivo, S., 2006, *Science, Technology, and Society. A Sociological Approach*, Blackwell, Òxford.
- Bawa, A. i Kansal, P., 2008, Cognitive dissonance and the marketing of services: Some issues, *Journal of Services Research*, **8**, 2, 31-51.
- Baxter, M. J., 1993, Comment on D. Tangri and R. V. S. Wright, "Multivariate analysis of compositional data..." *Archaeometry*, **35**, 1, 112-115.
- Baxter, M. J., 1994, *Exploratory Multivariate Analysis in Archaeology*, Edinburgh University Press, Edinburgh.
- Baxter, M. J., 2001, Statistical modelling of artefact compositional data, *Archaeometry*, **43**, 1, 131-147.
- Baxter, M. J. i Freestone, I. C., 2006, Log-ratio compositional data analysis in Archaeometry, *Archaeometry*, **48**, 3, 511-531.
- Beck, M. E., 2002, The ball-on-three-ball test for tensile strength: Refined methodology and results for three Hohokam ceramic types, *American Antiquity*, **67**, 3, 558-569.
- Beck, M. E., Skibo, J. M., Hally, D. J. i Yang, P., 2002, Sample selection for ceramic use-alteration analysis: The effects of abrasion on soot, *Journal of Archaeological Science*, **29**, 1, 1-15.
- Beier, T. i Mommsen, H., 1994, Modified Mahalanobis filters for grouping pottery by chemical composition, *Archaeometry*, **36**, 287-306.
- Beltrán Lloris, M., 1970, *Las Ánforas Romanas en España*, Monografías Arqueológicas, **8**, Institución Fernando el Católico, Saragossa.
- Beltrán Lloris, M., 1987, El comercio del vino antiguo en el valle del Ebro, a *El Vi a l'Antiguitat. Economia, Producció i Comerç al Mediterrani Occidental, Actes del I Col·loqui Internacional d'Arqueologia Romana (28-30 de novembre i 1 de desembre de 1985)* (ed.), 51-73, Monografies Badalonines, **9**, Museu de Badalona, Badalona.
- Bieber, A. M., Brooks, D. W., Harbottle, G. i Sayre, E. V., 1976, Application of multivariate techniques to analytical data on Aegean ceramics, *Archaeometry*, **18**, 1, 59-74.
- Bijker, W. E. i Law, J. (ed.), 1992, *Shaping Technology, Building Society: Studies in Socio-Technical Change*, Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge.
- Bijker, W. E., Hughes, T. P. i Pinch, T. F. (ed.), 1987, *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*, The MIT Press, Cambridge.
- Binford, L. R., 1978, *Nunamiut Ethnoarchaeology*, Academic Press, Nova York.
- Black, R. G. i Duff, S., 1994, A model for teaching structures: Finite Element Analysis in architectural education, *Journal of Architectural Education*, **48**, 1, 38-55.
- Blackman, M. J. i Bishop, R. L., 2007, The Smithsonian-nist partnership: The application of instrumental neutron activation analysis to archaeology, *Archaeometry*, **49**, 2, 321-341.

- Blackman, M. J., Stein, G. J. i Vandiver, P. B., 1993, The standardization hypothesis and ceramic mass production: Technological, compositional, and metrix indexes of craft specialitzation at Tell Leilan, Syria *American Antiquity*, **58**, 1, 60-80.
- Blanton, H., Pelham, B. W., DeHart, T. i Carvallo, M., 2001, Overconfidence as dissonance reduction, *Journal of Experimental Social Psychology*, **37**, 373-385.
- Boivin, N., Bray, P. J., Pollard, A. M., Gosden, C., Killick, D., Mithen, S., Needham, S., Taylor, T. i Thomas, J., 2005, Comments on A. Jones, 'Archaeometry and materiality: Materials-based analysis in theory and practice', *Archaeometry*, **46**(3), 327-338, 2004, and reply, *Archaeometry*, **47**, 1, 175-207.
- Boone, J. L. i Smith, E. A., 1998, Is it evolution yet?, *Current Anthropology*, **39**, 2, 141-173.
- Bourdieu, P., 1984, *Distinction: A Social Critique of the Judgement of Taste*, Harvard University Press, Cambridge.
- Bowker, B. C. i Star, S. L., 2000, *Sorting Things Out: Classification and its Consequences*, The MIT Press, Cambridge.
- Bowman, A. W. i Azzalini, A., 1997, *Applied Smoothing Techniques for Data Analysis. The Kernel Approach with S-Plus Illustrations*, Oxford University Press, Oxford.
- Brantingham, P. J., 2007, A unified evolutionary model of archaeological style and function based on the Price Equation, *American Antiquity*, **72**, 3, 395-416.
- Braun, D., 1983, Pots as tools, a *The Hammer Theory of Archaeological Research* (ed. J.A. Moore i A.S. Keene), 107-134, Academic Press, Nova York.
- Brehm, J., 1956, Postdecision changes in the desirability of alternatives, *Journal of Abnormal and Social Psychology*, **52**, 384-389.
- Brehm, J. i Cohen, A., 1962, *Explorations in Cognitive Dissonance*, John Wiley & Sons, Nova York.
- Brindley, G. W. i Brown, G. (ed.), 1980, *Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray Identification*, Mineralogical Society, Londres.
- Bromund, R. H., Bower, N. W. i Smith, R. H., 1976, Inclusions in ancient ceramics: An approach to the problem of sampling for chemical analysis, *Archaeometry*, **18**, 2, 218-221.
- Bronitsky, G. i Hamer, R., 1986, Experiments in ceramic technology: The effects of various tempering materials on impact and thermal-shock resistance, *American Antiquity*, **51**, 89-101.
- Brothwell, D. R. i Pollard, A. M. (ed.), 2005, *Handbook of Archaeological Sciences*, John Wiley & Sons, Chichester.
- Brun, J.-P., 2004, *Archéologie du Vin et de l'Huile dans l'Empire Romain*, Errance, Paris.
- Brunt, P. A., 1971, *Italian Manpower 225 BC.- A.D. 14*, Oxford University Press, Oxford.
- Buchli, V. i Lucas, G. (ed.), 2001, *Archaeologies of the Contemporary Past*, Routledge, Londres.
- Burjachs i Casas, F., Defaus i Congost, J. M., Miret i Mestre, M. i Solías i Arís, J. M., 1987, Un centre laietà productor d'envasos de vi a Malgrat (Maresme), a *El Vi a l'Antiguitat. Economia Producció i Comerç al Mediterrani Occidental, Actes del I Col·loqui d'Arqueologia Romana (28-30 de novembre i 1 de desembre de*

- 1985) (ed.), 224-228, Monografies Badalonines, **9**, Museu de Badalona, Badalona.
- Burjachs i Casas, F., Defaus i Congost, J. M., Garcia i Petit, L., Miret i Mestre, M. i Solías i Arís, J. M., 1982, Malgrat de Mar, Maresme, a *Les Excavacions Arqueològiques a Catalunya en els Darrers Anys* (ed.), 308-309, Direcció General del Patrimoni Artístic Servei d'Arqueologia del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, Barcelona.
- Burjachs i Casas, F., Defaus i Congost, J. M., García i Petit, L., Miret i Mestre, M. i Solías i Arís, J. M., 1989, *Memòria de les Excavacions Arqueològiques a Malgrat de Mar (1980-1983)*, Servei d'Arqueologia del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, **456**, Barcelona (inèdit).
- Buxeda i Garrigós, J., Martínez Ferreras, V. i Vila Socias, L., 2008, Les primeres produccions d'àmfores romanes a la Tarraconense. Per una arqueometria del canvi tecnològic, de la producció i del consum, a *La producció i el comerç de les àmfores de la província Hispania Tarraconensis. Homenatge a Ricard Pascual i Guasch* (ed. A. López i X. Aquilué), 151-162, **8**, Museu d'Arqueologia de Catalunya, Servei de Patrimoni Arquitectònic Local, Diputació de Barcelona, Barcelona.
- Buxeda i Garrigós, J., 1995, *La caracterització arqueomètrica de la ceràmica de Terra Sigillata Hispanica Avançada de la ciutat romana de Clunia i la seva contrastació amb la Terra Sigillata Hispanica d'un centre productor contemporani, el taller d'Abella*, Col·lecció de Tesis Doctorals microfityxades, **2524**, Universitat de Barcelona, Barcelona.
- Buxeda i Garrigós, J., 1999, Alteration and contamination of archaeological ceramics: The perturbation problem, *Journal of Archaeological Science*, **26**, 3, 295-313.
- Buxeda i Garrigós, J., 2001, L'estadística i la seva aplicació en els estudis de provenença dels materials arqueològics, a *Jornades d'Arqueologia i Tecnologies de la Informació i la Comunicació: Recerca, Docència i Difusió* (ed. F. Gracia, J.M. Gurt, C. Carreras i G. Munilla), 71-92, *Arqueomediterrània*, **7**, Dept. Prehistòria, H<sup>a</sup> Antiga i Arqueologia, Universitat de Barcelona i Universitat Oberta de Catalunya, Barcelona.
- Buxeda i Garrigós, J. i Cau, M. A., 1995, Identificación y significado de la calcita secundaria en cerámicas arqueológicas, *Complutum*, **6**, 293 - 309.
- Buxeda i Garrigós, J. i Gurt i Esparraguera, J. M., 1998, La caracterització arqueomètrica de les àmfores de Can Peixau (Badalona) i la seva aportació al coneixement de la producció de Pascual 1 al territori de Baetulo, a *El Vi a l'Antiguitat. Economia, Producció i Comerç al Mediterrani Occidental, Actes del II Col·loqui d'Arqueologia Romana (6-9 de maig de 1998)* (ed. M. Comas i P. Padró), 193-217, Monografies Badalonines, **14**, Museu de Badalona, Badalona.
- Buxeda i Garrigós, J. i Kilikoglou, V., 2003, Total variation as a measure of variability in chemical data sets, a *Patterns and Process, a Festschrift in honor of Dr. Edward V. Sayre* (ed. L. Van Zelst), 185-198, Smithsonian Center for Materials Research and Education, Suitland, Maryland.
- Buxeda i Garrigós, J., Mommsen, H. i Tsolakidou, A., 2002a, Alterations of Na, K and Rb concentrations in Mycenaean pottery and a proposed explanation using X-

- ray diffraction, *Archaeometry*, **44**, 2, 187-198.
- Buxeda i Garrigós, J., Comas i Solà, M. i Gurt i Esparraguera, J. M., 2002b, Roman amphorae production in Baetulo (Badalona, Catalonia): Evidence of Pascual 1 a *Modern Trends in Scientific Studies on Ancient Ceramics* (ed. V. Kilikoglou, A. Hein i Y. Maniatis), 277-285, BAR International Series, **1011**, Archaeopress, Oxford.
- Buxeda i Garrigós, J., Cau Ontiveros, M. A. i Kilikoglou, V., 2003, Chemical variability in clays and pottery from a traditional cooking pot production village: Testing assumptions in Pereruela, *Archaeometry*, **45**, 1, 1-17.
- Buxeda i Garrigós, J., Martínez Ferreras, V. i Vila Socias, L., 2004, Caracterització arqueomètrica de les àmfors Pascual 1 del derelict Culip VIII, a *Culip VIII i les àmfors Haltern 70* (ed. C. Carreras, A. Aguilera, P. Berni, E. Garrote, P. Marimón, R. Morais, J. Moros, J. Nieto, A. Puig, J. Remesal, R. Rovira i G. Vivar), 167-188., **5**, Monografies del CASC, Girona.
- Buxó i Capdevila, R. i Descamps, J., 1990, *Fenals-Lloret de Mar. La Selva. Excavació d'Urgència: Febrer-Agost 1984*, Servei d'Arqueologia del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, Barcelona (inèdit).
- Buxó i Capdevila, R. i Tremoleda i Trilla, J., 2002, *La Bòbila Romana de Fenals (Lloret de Mar)*, Col·lecció Es Frases, Ajuntament de Lloret de Mar, Lloret de Mar.
- Caja Briasco, M. J., 2000, Intervenció en el barri de l'església de Llafranc, *Jornades d'Arqueologia de les Comarques de Girona*, **V**, 157-160.
- Carbonell, E. i Folch, J., 1998, La producció de vi i d'àmfors a la vil·la de Can Feu, a *El Vi a l'Antiguitat. Economia, Producció i Comerç al Mediterrani Occidental, Actes del II Col·loqui d'Arqueologia Romana (6-9 de maig de 1998)* (ed. M. Comas i P. Padró), 289-293, Monografies Badalonines, **14**, Museu de Badalona, Badalona.
- Cardwell, D. S. L., 1972, *Technology, Science and History*, Heinemann, Londres.
- Cardwell, D. S. L., 1996, *Historia de la tecnología*, Alianza-Historia, Madrid.
- Carreras Vidal, N. i Rigo Jovells, A., 1994, Can Blanc (Argentona, Maresme). Una vil·la romana de mitjans del segle I dC a inicis del segle III dC, *Laietania*, **9**, 183-213.
- Carreras Vidal, N., Gurri Costa, E. i Rigo Jovells, A., 1994, *Memòria de la Intervenció Arqueològica d'Urgència en el Traçat de l'Autopista de Mataró a Granollers (Mataró-Argentona, el Maresme). Prospeccions Superficials i Delimitacions de Jaciments. Març de 1993*, Servei d'Arqueologia del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, Barcelona (inèdit).
- Carreté, J. M., Keay, S. i Millet, M., 1995, *A Roman Provincial Capital and its hinterland. The survey of the territory of Tarragona, Spain 1985-1990*, Journal of Roman Archaeology Supplementary Series, **15**, Ann Arbor, Oxford.
- Casas Blasi, J. i Martínez Ferreras, V., 2006, El taller ceràmic d'època romana del carrer Princesa de Barcelona. Estudi arqueològic de les restes i estudi arqueomètric del material ceràmic, *Quaderns d'Arqueologia i Història de la Ciutat de Barcelona*, **2**, 36-79.
- Casas i Selvas, M. T., 1987, Estudi preliminar: Les àmfors de la vil·la de la Salut (Sabadell), *Arxaona*, **1**, 15-26.
- Cau Ontiveros, M. A., 2003, *Ceràmica de cocina tardorromana de las islas Baleares:*



- Estudio arqueométrico*, BAR internacional series, **1182**, Archaeopress, Òxford.
- Cau Ontiveros, M. A., 2004, La ciutat romana de *Palma*: Hipòtesis sobre el seu traçat urbà i restes arqueològiques, a *Les Ciutats Romanes del Llevant Peninsular i les Illes Balears* (ed. M. Orfila i M.A. Cau), 191-237, Pòrtic, Barcelona.
- Cau Ontiveros, M. A. i Esther Chávez, M., 2003, El fenómeno urbano en Mallorca en época romana: Los ejemplos de *Pollentia* y *Palma*, *Mayurqa*, **29**, 27-49.
- Cau Ontiveros, M. A., Day, P. M. i Montana, G., 2002, Secondary calcite in archaeological ceramics: evaluation of alteration and contamination processes by thin section study, a *Modern Trends in Scientific Studies on Ancient Ceramics* (ed. V. Kilikoglou, A. Hein i Y. Maniatis), 9-18, BAR International Series, **1011**, Archaeopress, Òxford.
- Cau Ontiveros, M. A., Buxeda i Garrigós, J. i Kilikoglou, V., en preparació, Variability of major elements and petrographic features within a single production centre: Back to Pereruela, presentat al *36th International Symposium on Archaeometry* celebrat el 2-6 de maig de 2006, a la ciutat de Québec (Canadà).
- Cavalli-Sforza, L. L., 1997, *Genes, Pueblos y Lenguas*, Crítica, Col·lecció *Drakontos*, Barcelona.
- Cavalli-Sforza, L. L., 2007, *La Evolución de la Cultura*, Anagrama, Barcelona.
- Caylus, C., 1752, *Recueil d'Antiquités égyptiennes, étrusques, grecques et romaines*, 1752-1767, I.
- Cela Espín, X., 1998, *Memòria de l'Excavació Arqueològica d'Urgència Realitzada al Solar del Carrer Barcelona, 45 (Mataró, El Maresme), Setembre de 1996*, Servei d'Arqueologia del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, **4602**, Barcelona (inèdit).
- Cela Espín, X. i Bosch de Dòria, M., 2002, *Memòria de la Intervenció Arqueològica d'Urgència Realitzada al Carrer Magí de Vilallonga, 8-12 (Mataró, El Maresme), Jaciment Arqueològic d'Iluro*, Servei d'Arqueologia del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, **3563**, Barcelona (inèdit).
- Cerdà Juan, D., 1999, *El Vi en l'Ager Pollentinus i en el seu Entorn*, Col·lecció La Deixa, **3**, Consell de Mallorca, Monografies de Patrimoni Històric, Palma.
- Cerdà Mellado, J. A., García Rosselló, J., Martí Garcia, C., Pujol Del Horno, J. i Revilla Calvo, V., 1997, El cardo maximvs de la civtat romana d'Iluro (Hispania Tarraconensis), *Laietania*, **10**, 3 volums.
- Codex, 1992, Excavacions a l'autopista A-19 variant de Mataró. Tres exemples del poblament del Maresme: De l'ibèric ple a la romanització, *Laietania*, **7**, 157-189.
- Codex, 2002, *Memòria de la Intervenció Arqueològica al Solar Caretera a Hortsavinyà, 1 a 11-El Roser (Calella, Maresme). Juny 2001-Abril 2002*, Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, **5194**, Barcelona (inèdit).
- Cogswell, J., Neff, H. i Glascock, M., 1996, The effect of firing temperature on the elemental characterization of pottery, *Journal of Archaeological Science*, **23**, 2, 283-287.
- Comas i Solà, M., 1983, La Laietana 1: Un nou tipus d'àmfora trobat a Badalona, *Carrer dels Arbres*, **39**, 23-26.
- Comas i Solà, M., 1985, *Baetulo. Les àmfores*, Monografies Badalonines, **8**, Museu de

- Badalona, Badalona.
- Comas i Solà, M., 1987, Importació i exportació de vi a Baetulo: L'estudi de les àmfores, a *El Vi a l'Antiguitat. Economia Producció i Comerç al Mediterrani Occidental, Actes del I Col·loqui d'Arqueologia Romana (28-30 de novembre i 1 de desembre de 1985)* (ed.), 161-173, Monografies Badalonines, **9**, Museu de Badalona, Badalona.
- Comas i Solà, M., 1998, Présence et absence des amphores léetaniennes en Gaule, *SFECAG*, 225-233.
- Comas i Solà, M., Martín i Menéndez, A., Matamoros Aparicio, D. i Miró i Canals, J., 1987, Un tipus d'àmfora Dressel 1 de producció laietana, a *Pre-Actes de les Jornades Internacionals d'Arqueologia Romana. De les estructures indígenes a l'organització provincial romana de la Hispania Citerior (Granollers del 5-8 de febrer de 1987)* (ed.), 372-378, Documents de Treball, Granollers.
- Cooper, J., 2007, *Cognitive Dissonance. Fifty Years of a Classic Theory*, SAGE Publications, Londres.
- Corsi-Sciallano, M. i Liou, B., 1985, Les épaves de Tarraconaise à chargement d'amphores Dressel 2-4, *Archéonautica*, **5**,
- Costin, C. L. i Hagstrum, M. B., 1995, Standardization, labor investment, skill, and the organization of ceramic production in late prehistoric highland Peru, *American Antiquity*, **60**, 619-639.
- Crandall, B., Klein, G. i Hoffman, R., 2006, *Working Minds. A Practitioner's Guide to Cognitive Task Analysis*, The MIT Press, Cambridge.
- Crawford, M., 2001, Early Rome and Italy, a *The Oxford Illustrated History of the Roman World* (ed. J. Boardman, J. Griffin i O. Murray), 9-38, Oxford University Press, Òxford.
- Cumberpatch, C. G., 1997, Towards a phenomenological approach to medieval pottery, a *Not So Much a Pot, More a Way of Life* (ed. C.G. Cumberpatch i P.W. Blinkhorn), **83**, Oxford Monographs, Òxford.
- Cumberpatch, C. G., Griffiths, D. R., Kolb, C. C., Neff, H., Roux, V., Stilborg, O., Sillar, B., Smith, A. L. i Pool, C. A., 2001, Comments on 'Technological choices in ceramic production', *Archaeometry*, 42(1), 1-76, 2000, *Archaeometry*, **43**, 2, 269-299.
- Cuomo di Caprio, N., 1972, Proposta di classificazione delle antiche fornaci per ceramica e laterizi nell'area italiana, *Sibrium*, **11**, 371-464.
- Childs, T. S., 1999, After all, a Hoe bought a wife: The social dimensions of iron working among the Toro of east Africa, a *The Social Dynamics of Technology: Practice, Politics, and World Views* (ed. M.-A. Dobres i C.R. Hoffman), 23-45, Smithsonian Institution Press, Washington.
- Chung, F. H., 1974, Quantitative interpretation of X-ray diffraction patterns. I. Matrix-flushing method of quantitative multicomponent analysis, *Journal of Applied Crystallography*, **7**, 519-525.
- David, N. i Kramer, C., 2001, *Ethnoarchaeology in Action*, Cambridge World Archaeology, Cambridge University Press, Cambridge.
- David, N., Sterner, J. i Gavua, K., 1988, Why pots are decorated?, *Current Anthropology*, **29**, 365-389.
- Davis, J. C., 1986, *Statistics and Data Analysis in Geology*, John Wiley & Sons, Nova

- York.
- DD.AA., 2002, *Història Natural dels Països Catalans. Geologia I*, **1**, Fundació Enciclopèdia Catalana, Barcelona.
- Deal, M., 1998, *Pottery Ethnoarchaeology in the Central Maya Highlands*, University of Utah Press, Salt Lake City.
- Defaus i Congost, J. M. i Martín i Menéndez, A., 1989, *Memòria de les Prospeccions Realitzades en l'itinerari de la Futura Autovia de Mataró a Palafròls. Juliol-Setembre de 1989*, Servei d'Arqueologia del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, Barcelona (inèdit).
- Defaus i Congost, J. M., Martín i Menéndez, A. i Rigo Jovells, A., 1988, *Memòria Preliminar de l'Excavació d'Urgència al Roser (Mujal-Toyca). Setembre-October de 1988*, Servei d'Arqueologia del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, **134**, Barcelona (inèdit).
- Deighton, J., 1984, The interaction of advertising and evidence, *The Journal of Consumer Research*, **11**, 3, 763-770.
- Dias, M. I. i Prudêncio, M. I., 2007, Neutron activation analysis of archaeological materials: An overview of the ITN NAA Laboratory, Portugal, *Archaeometry*, **49**, 2, 383-393.
- Dobres, M.-A., 1995, Gender and prehistoric technology: On the social agency of technical strategies, *World Archaeology*, **27**, 1, 25-49.
- Dobres, M.-A., 2001, Meaning in the making: Agency and the social embodiment of technology and art, a *Anthropological Perspectives on Technology* (ed. M.B. Schiffer), 47-76, Amerind Foundation New World Studies Series, **5**, University of New Mexico Press, Albuquerque.
- Dobres, M.-A. i Hoffmann, C. R. (ed.), 1999, *The Social Dynamics of Technology*, Smithsonian Institution Press, Washington.
- Domènech, J., 1981, La petita història de l'arqueologia de Lloret de Mar, a *El Recinte Fortificat Ibèric de Puig Castellet. Excavacions 1975-1980* (ed. E. Pons, A. Toledo i J.M. Llorens), 16-27, Sèrie Monogràfica, **3**, Girona.
- Donnan, C. B. i Clewlow Jr, C. W. (ed.), 1974, *Ethnoarchaeology*, UCLA Institute of Archaeology, Los Angeles.
- Dunell, R. C., 1978, Style and function: A fundamental dichotomy, *American Antiquity*, **43**, 2, 192-202.
- Dunell, R. C., 1980, Evolutionary theory and archaeology, a *Advances in Archaeological Method and Theory* (ed. M.B. Schiffer), 35-99, **3**, Academic Press, Nova York.
- Dunell, R. C., 1993, Why archaeologists don't care about archaeometry, *Archaeomaterials*, **7**, 161-165.
- Dunell, R. C. i Feathers, J. K., 1991, Late woodland manifestations of the Malden plain, southeast Missouri, a *Late Woodland Stability, Transformation, and Variation in the Greater Southeastern United States* (ed. M.S. Nassaney i C.R. Cobb), 168-189, Plenum Press, Nova York.
- Dusek, V., 2006, *Philosophy of Technology: An Introduction*, Blackwell Publishing Professional, Òxford.
- Earle, T. K. i Preucel, R. W., 1987, Processual archaeology and the radical critique, *Current Anthropology*, **28**, 4, 501-538.

- Eerkens, J. W. i Bettinger, R. L., 2001, Techniques for assessing standardization in artifact assemblages: Can we scale material variability?, *American Antiquity*, **66**, 4, 493-504.
- Eerkens, J. W. i Lipo, C. P., 2005, Cultural transmission, copying errors, and the generation of variation in material culture and the archaeological record, *Journal of Anthropological Archaeology*, **24**, 316-334.
- Efron, B., 1982, *The Jackknife, the Bootstrap and Other Resampling Plans*, CBMS-NSF Regional Conference Series, **38**, Siam, Nova York.
- Efron, B. i Tibshirani, R. J., 1993, *An Introduction to the Bootstrap*, Chapman and Hall, Nova York.
- En-Nachioui, E. A., 2005, Ethnoarchéologie et céramique traditionnelle de Fès: Patrimoine et développement, presentat a *The Fourth Conference on Science and Technology in Archaeology and Conservation*, celebrat el 7-11 de desembre de 2005, a Amman i la Mar Morta, Jordània.
- En-Nachioui, E. A., en premsa, La cerámica en Marruecos: manufactura y herencia cultural, *Archivo Antropologico Mediterraneo*,
- Evans, J., 1850, On the date of British coins, *The Numismatic Chronicle and the Journal of Numismatic Society*, **12**, 127-137.
- Evers, T. M., Huffman, T. N. i Wandibba, S., 1988, On why pots are decorated the way they are, *Current Anthropology*, **29**, 5, 739-741.
- Faber, E. W., Kilikoglou, V., Day, P. M. i Wilson, D. E., 2002, A technological study of middle minoan polychrome pottery from Knossos, Crete, a *Modern Trends in Scientific Studies on Ancient Ceramics* (ed. V. Kilikoglou, A. Hein i Y. Maniatis), 129-142, BAR International Series, **1011**, Archaeopress, Òxford.
- Feathers, M. A., 1989, Effects of temper on strength of ceramics: Response to Bronitsky and Hamer, *American Antiquity*, **54**, 579-588.
- Feathers, M. A. i Scott, W. D., 1989, Prehistoric ceramic composites from the Mississippi Valley, *American Ceramic Society Bulletin*, **68**, 554-557.
- Feinman, G. M., 1999, Rethinking our assumptions: Economic specialization at the household scale in ancient Ejutla, Oaxaca, Mexico, a *Pottery and People. A Dynamic Interaction* (ed. J.M. Skibo i G.M. Feinman), 81-98, University of Utah Press, Salt Lake City.
- Festinger, L., 1957, *A Theory of Cognitive Dissonance*, Stanford University Press, Stanford.
- Fina i Girbau, E., 1898, Descubriments arqueològics en la platja de Llafrach, *Revista de la Asociación Artístico-Arqueológica-Barcelonesa*, **I**, 6, 475-480.
- Fontes, P., Laubenheimer, F., Leblanc, J., Bonnefoy, F., Gruel, K. i Widemann, F., 1981, Nouvelles données analytiques et typologiques sur les ateliers de production d'amphores en Gaule du sud, *Revue d'Archéométrie*, Suppl. S, 95-110.
- Fournier, P., 1990, Un estudio sobre arqueología experimental: Efectos de acabados de superficie en la resistencia a la ruptura de cuerpos cerámicos, *Boletín de Antropología Americana del Instituto Panamericano de Geografía e Historia*, **21**, 103-128.
- Franken, H. L., 1989, Form is the essence of a vessel, *Newsletter: Department of Pottery Technology*, **7/8**, 1-6.

- Frías Valero, E., 2004, *Aportaciones al Estudio de las Máquinas Eléctricas de Flujo Axial mediante la Aplicación del Método de los Elementos Finitos*, PhD Thesis, TDX-1214104-114808, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Fuller, S., 2006, *The Philosophy of Science and Technology Studies*, Routledge, Nova York.
- García-Delgado, C., 2000, *Las Raíces de Palma: Los Mil Primeros Años de la Construcción de una Ciudad. De la Colonia Romana a la Medina Musulmana*, Col·legi Oficial d'Arquitectes de les Illes Balears, Palma.
- García Iñañez, J., 2007, *Caracterització arqueomètrica de la ceràmica vidrada decorada de la Baixa Edat Mitjana al Renaixement dels principals centres productors de la Península Ibèrica*, Tesis Doctorals en Xarxa, **0205107-115739**, Universitat de Barcelona, Barcelona.
- García Rianza, E. i Sánchez León, M. L., 2000, *Roma y la Municipalización de las Baleares*, Universitat de les Illes Balears, Palma.
- García Rosselló, J. i Gurri Costa, E., 1997, Les imitacions laietanes d'àmfores itàliques a la zona central de la comarca del Maresme en època tardoreuplicana, a *Hispania i Roma. D'August a Carlemany. Congrès d'Homenatge al Dr. Pere de Palol* (ed.), 397-424, Annals de l'Institut d'Estudis Gironins, **XXXVII**, Girona.
- García Rosselló, J., Martín Menéndez, A. i Cela Espín, X., 2000, Nuevas aportaciones sobre la romanización en el territorio de Iluro (*Hispania Tarraconensis*), *Empúries*, **52**, 29-54.
- Garnsey, P. i Saller, R., 1991, *El Imperio Romano. Economía, Sociedad y Cultura*, Critica, Barcelona.
- Gianfrotta, P. A., 1998, Nuovi reinvenimenti subaquei per lo studio di alcuni aspetti del commercio marittimo del vino (I sec. a.C. - I sec. d.C.), a *El Vi a l'Antiguitat. Economia, Producció i Comerç al Mediterrani Occidental, Actes del II Col·loqui d'Arqueologia Romana (6-9 de maig de 1998)* (ed. M. Comas i P. Padró), 105-112, Monografies Badalonines, **14**, Museu de Badalona, Badalona.
- Gianfrotta, P. A. i Pomey, P., 1981, *Archeologia subacquea. Storia, tecnica, scoperte e relitti*, Milà.
- Glascocock, M. D., 1992, Characterization of archaeological ceramic at MURR by neutron activation analysis and multivariate statistics, a *Chemical Characterization of Ceramic Pastes in Archaeology* (ed. H. Neff), 11-30, Monographs in World Archaeology, **7**, Prehistory Press, Madison WI.
- Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Echlin, P., Joy, D. C., Fiori, C. i Lifshin, E., 1984, *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*, Plenum Press, Nova York.
- Gosselain, O. P., 1992, Bonfire of the enquiries. Pottery firing temperatures in Archaeology: What for?, *Journal of Archaeological Science*, **19**, 243-259.
- Gosselain, O. P. i Livingstone Smith, A., 1995, The ceramics and society project: an ethnographic and experimental approach to technological choices, a *The aim of laboratory analyses of ceramics in archaeology* (ed. A. Lindahl i O. Stilborg), 147-160, **34**, Estocolm.
- Gould, R. A., 1980, *Living Archaeology*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Gould, R. A. i Schiffer, M. B. (ed.), 1981, *Modern Material Culture Studies: The Archaeology of US.*, Academic Press, Nova York.

- Green, D. J., 1998, *An Introduction to the Mechanical Properties of Ceramics*, Cambridge University Press, Cambridge Solid State Science Series, Nova York.
- Griffiths, D. H. i Barker, R. D., 1994, Electrical imaging in Archaeology, *Journal of Archaeological Science*, **21**, 153-158.
- Griffiths, D. R., 1999, The role of interdisciplinary science in the study of ancient pottery, *Interdisciplinary Science Review*, **24**, 4, 289-300.
- Guerrero Ayuso, V. M., 1997, *Colonización Púnica de Mallorca. La Documentacion Arqueológica y el Contexto Histórico*, Universitat de les Illes Balears, Palma.
- Guitart i Duran, J., 1987, La Laietània: El context històric-arqueològic com a marc interpretatiu de la producció i comerç del vi a la regió, a *El Vi a l'Antiguitat. Economia Producció i Comerç al Mediterrani Occidental, Actes del I Col·loqui d'Arqueologia Romana (28-30 de novembre i 1 de desembre de 1985)* (ed.), 145-151, Monografies Badalonines, **9**, Museu de Badalona, Badalona.
- Guitart i Duran, J., 2004, Ciutats romanes a Catalunya: Urbanisme i arquitectura civil, a *Les Ciutats Romanes del Llevant Peninsular i les Illes Balears* (ed. M. Orfila i M.A. Cau), 17-66, Pòrtic, Barcelona.
- Gurri i Costa, E., Gurri i Costa, J., Bagur i Gomila, F. i Medrano i Picó, J., 1998, Un centre productor de vi laietà: El Morè (Sant Pol de Mar, El Maresme). De la realitat arqueològica a la virtual, a *El Vi a l'Antiguitat. Economia, Producció i Comerç al Mediterrani Occidental, Actes del II Col·loqui d'Arqueologia Romana (6-9 de maig de 1998)* (ed. M. Comas i P. Padró), 563-568, Monografies Badalonines, **14**, Museu de Badalona, Badalona.
- Harbottle, G., 1976, Activation analysis in archaeology. Specialist Periodical Report, a *Radiochemistry* (ed. G.W.A. Newton), 33-72, **vol. 3**, The Chemical Society, Londres.
- Hardin, M. A., 1984, Models of Decoration, a *The many dimensions of pottery: Ceramics in archaeology and anthropology* (ed. S.E. Van der Leeuw i A.C. Pritchard), 573-607, University of Amsterdam, Amsterdam.
- Harris, M., 2004, *Introducción a la Antropología General. Séptima edición*, Alianza Editorial, Madrid.
- Hegmon, M., 2003, Setting theoretical egos aside: Issues and theory in North American Archaeology, *American Antiquity*, **68**, 2, 213-243.
- Heimann, R., 1989, Assessing the technology of ancient pottery. The use of ceramic phase diagrams, *Archeomaterials*, **3**, 2, 123 - 148.
- Hein, A. i Kilikoglou, V., 2007a, Assessment of ancient vessel design with finite element method (FEM), a *Archaeometric and Archaeological Approaches to Ceramics, papers presentdd at EMAC'05 8th European Meeting on Ancient Ceramics, Lió 2005* (ed. S.Y. Waksman), 9-12, BAR internacional series, **1691**, Archaeopress, Òxford.
- Hein, A. i Kilikoglou, V., 2007b, Modeling of thermal behavior of ancient metallurgical ceramics, *Journal of the American Ceramic Society*, **90**, 3, 878-884.
- Hein, A. i Kilikoglou, V., en premsa, Finite element analysis (FEA) of metallurgical ceramics: Assessment of their thermal behaviour, a *Aegean Metallurgy in the Bronze Age-Proceedings del Symposium celebrat a Rethymno el 19-21 de novembre de 2004* (ed. I. Tzachili), Crete University Press, Heraklion.
- Hein, A., Georgopoulou, V., Nodarou, E. i Kilikoglou, V., 2008, Koan amphorae from

- Halasarna -investigations in a Hellenistic amphora production centre, *Journal of Archaeological Science*, **35**, 1049-1061.
- Hein, A., Tsolakidou, A., Iliopoulos, I., Mommsen, H., Buxeda i Garrigós, J., Montana, G. i Kilikoglou, V., 2002, Standardisation of elemental analytical techniques applied to provenance studies of archaeological ceramics: An inter laboratory calibration study, *Analyst*, **127**, 4, 542-553.
- Henderson, J., 2000, *The Science and Archaeology of Materials. An investigation of Inorganic Materials*, Routledge, London.
- Herbert, P. D. N., Cywinska, A., Ball, S. L. i de Waard, J. R., 2003, Biological identifications through DNA barcodes, *Proceedings of the Royal Society of London*, **270**, 313-321.
- Herbich, I. i Dietler, M., 1991, Aspects of the ceramic system of the Luo of Kenya, a *Topferei-und Keramikforschung* (ed. H. Ludtke i R. Vossen), 105-135, **Band 2**, Habelt, Bonn.
- Hesnard, A., Ricq, M., Arthur, P., Picon, M. i Tchernia, A., 1989, Aires de production des Gréco-Italiques et des Dr. 1, a *Amphores Romaines et Histoire Économique, Dix ans de Recherche, Actes du Colloque de Sienne (22-24 maig de 1986)* (ed.), 21-65, Collection de l'École Française de Rome, **114**, Palais Farnèse.
- Hingley, R., 2005, *Globalizing Roman Culture. Unity, Diversity and Empire*, Routledge, Nova York.
- Hoard, R. J., O'Brien, M. J., Khorasgany, M. G. i Gopalaratnam, V. S., 1995, A materials-science approach to understanding limestone-tempered pottery from the Midwestern United States, *Journal of Archaeological Science*, **22**, 6, 823-832.
- Hodder, I. R. (ed.), 1982, *Symbolic and Structural Archaeology*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Hodder, I. R. (ed.), 2001, *Archaeological Theory Today*, Polity Press, Cambridge.
- Holmes, W. H., 1890, On the evolution of ornament-An American lesson, *American Anthropologist*, **3**, 137-146.
- Holmes, W. H., 1891, Manufacture of stone arrow-points, *American Anthropologist*, **4**, 49-58.
- Howego, C., Heuchert, V. i Burnett, A. (ed.), 2006, *Coinage and Identity in the Roman Provinces*, Oxford University Press, Oxford.
- ICC i IGC, 2006, *Mapa Geològic Comarcal de Catalunya 1:50000. El Maresme*, Institut Cartogràfic de Catalunya, Institut Geològic de Catalunya i Departament de Medi Ambient i Habitatge, **21**, Generalitat de Catalunya, Barcelona.
- IGME, 1977, *Mapa Geològic de España. Escala 1:50.000. Calella. Full 394/38-15*, Instituto Geológico y Minero de España, Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria, Madrid.
- IGME, 1983a, *Mapa Geològic de España. Escala 1:50.000. Palafrugell. Full 335/40-13*, Instituto Geológico y Minero de España, Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía, Madrid.
- IGME, 1983b, *Mapa Geològic de España. Escala 1:50.000. San Feliu de Guixols. Full 366/39-14*, Instituto Geológico y Minero de España, Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía, Madrid.
- Ingold, T., 1988, Tools, Minds, and Machines: An Excursion in the Philosophy of

- Technology, *Techniques et Cultures*, **12**, 151-176.
- Ingold, T., 1990, Society, Nature, and the Concept of Technology, *Archaeological Review of Cambridge*, **9**, 1, 5-17.
- Ingold, T., 2001, Beyond art and technology: The anthropology of skill, a *Anthropological Perspectives on Technology* (ed. M.B. Schiffer), 17-31, Amerind Foundation New World Studies Series, **5**, University of New Mexico Press, Albuquerque.
- ITGME, 1993, *Mapa Geològic de España. Escala 1:50.000. Mataró. Full 393/37-15*, Instituto Tecnològic GeoMinero de España, Madrid.
- Izquierdo Tugas, P., 1987, Algunes observacions sobre l'ancoratge de les Sorres, al delta del riu Llobregat, a *El Vi a l'Antiguitat. Economia, Producció i Comerç al Mediterrani Occidental, Actes del I Col·loqui Internacional d'Arqueologia Romana (28-30 de novembre i 1 de desembre de 1985)* (ed.), 133-139, Monografies Badalonines, **9**, Museu de Badalona, Badalona.
- Izquierdo Tugas, P., 1993, Un nou centre productor d'àmfores a la vall de l'Ebre: El mas del Catxorro de Benifallet, a *Homenatge a Miquel Tarradell* (ed.), 753-765, Barcelona.
- Jenkins, K. (ed.), 1997, *The Postmodern History Reader*, Routledge, Londres.
- Jiménez Marzo, M., 1999, *Memòria de les Actuacions Arqueològiques al C/ Barcelona, 44 (Mataró, El Maresme), Novembre de 1998-Gener de 1999*, Servei d'Arqueologia del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, **2883**, Barcelona (inèdit).
- Johnson, M., 2000, *Teoría arqueológica. Una introducción*, Ariel-Historia, Barcelona.
- Jones, A., 2004, Archaeometry and materiality: Materials-based analysis in theory and practice, *Archaeometry*, **46**, 3, 327-338.
- Jones, A. i MacGregor, G. (ed.), 2002, *Colouring the Past: The Significance of Colour in Archaeological Research*, Berg, Òxford.
- Juan-Tresserras, J., 1998, El cultivo de la vid y la elaboración del vino en la península ibérica en la Antigüedad. Aportaciones de los análisis de residuos, a *El Vi a l'Antiguitat. Economia, Producció i Comerç al Mediterrani Occidental, Actes del II Col·loqui d'Arqueologia Romana (6-9 de maig de 1998)* (ed. M. Comas i P. Padró), 87-92, Monografies Badalonines, **14**, Museu de Badalona, Badalona.
- Kaplan, M. i Richer, N. (ed.), 1995, *El Mundo Romano*, Universidad de Granada, Granada.
- Keay, S., 2003, Recent archaeological work in roman iberia (1990-2002), *The Journal of Roman Studies*, **93**, 146-211.
- Kehoe, D. K., 1997, *Investment, Profint and Tenancy: The Jurists and The Roman Agrarian Economy*, University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan.
- Keller, C. M., 2001, Thought and production: Insights of the practitioner, a *Anthropological Perspectives on Technology* (ed. M.B. Schiffer), 33-45, Amerind Foundation New World Studies Series, **5**, University of New Mexico Press, Albuquerque.
- Keller, C. M. i Keller, J. D., 1996, *Cognition and Tool Use: The Blacksmith at Work*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Kelly, P. i Kranzen, M., 1978, Technological Change, a *Technological Innovation* (ed. P. Kelly i M. Kranzen), 1-30, San Francisco Press, San Francisco.



- Keum, Y. T. i Oh, J. W., 2005, Finite element simulation of a ceramic drying process considering pore shape and porosity, *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, **13**, 225-237.
- Kilikoglou, V., 1994, Scanning Electron Microscopy, a *Ceramic Regionalism in Prepalatial Central Crete: The Mesara Imports at EM I to EM IIA, Knossos* (ed. D.E. Wilson i P.M. Day), 70-82, Annual of the British School at Athens, **89**, Atenes.
- Kilikoglou, V. i Vekinis, G., 2002, Failure prediction and function determination of archaeological pottery by finite element analysis, *Journal of Archaeological Science*, **29**, 11, 1317-1325.
- Kilikoglou, V., Maniatis, Y. i Grimanis, A. P., 1988, The effect of purification and firing of clays on trace element provenance studies, *Archaeometry*, **30**, 1, 37-46.
- Kilikoglou, V., Vekinis, G. i Maniatis, Y., 1995, Toughening of ceramic earthenwares by quartz inclusions: An ancient art revisited, *Acta Metallurgica et Materialia*, **43**, 8, 2959-2965.
- Kilikoglou, V., Vekinis, G., Maniatis, Y. i Day, P. M., 1998, Mechanical performance of quartz-tempered ceramics. Part I, strength and toughness, *Archaeometry*, **40**, 2, 261-279.
- Kilikoglou, V., Grimanis, A. P., Tsolakidou, A., Hein, A., Malamidou, D. i Tsirtsoni, Z., 2007, Neutron activation patterning of archaeological materials at the National Center for Scientific Research 'Demokritos': The case of black-on-red neolithic pottery from Macedonia, Greece, *Archaeometry*, **49**, 2, 301-319.
- Kingery, W. D., 1963, Effects of Microstructure on the Properties of Ceramics, a *The Physics and Chemistry of Ceramics* (ed. C. Kingsberg), 286-305, Gordon and Breach, Nova York.
- Kingery, W. D. (ed.), 1996, *Learning from Things: Method and Theory in Material Culture Studies*, Smithsonian Institution Press, Washington.
- Kingery, W. D., 2001, The design process as a critical component of the anthropology of technology, a *Anthropological Perspectives on Technology* (ed. M.B. Schiffer), 123-138, Amerind Foundation New World Studies Series, **5**, Univesity of New Mexico Press, Albuquerque.
- Klug, H. P. i Alexander, L. E., 1974, *X- ray Diffraction Procedures*, John Wiley & Sons, Nova York.
- Knapp, R. C., 1977, Aspects of the Roman Experience in Iberia 206-100 BC, *Anejos de Hispania Antiqua IX*, Valladolid-Vitoria.
- Kolb, C. C., 1982, Ceramic technology and problems and prospects of provenience in specific ceramics forn Mexico and Afghanistan, a *Archaeological Ceramics* (ed. J.S. Olin i A.D. Franklin), 193-208, Smithsonian Institution Press, Washington.
- Kolb, C. C., 1997, Analyses of archaeological ceramics from Classic period Teotihuacan, Mexico, A.D. 150-750, a *Materials Research in Art and Archaeology* (ed. P.B. Vandiver, J. Druzik, J. Madrid, J. Freestone i G. Wheeler), 247-262, **463**, Materials Research Society, Pittsburg.
- Kolb, C. C. i Lackey, L. (ed.), 1998, *A Pot for All Reasons: Ceramic Ecology Revisited*, Laboratory of Anthropology of Temple University, Philadelphia, Pennsylvania.
- Kramer, C., 1985, Ceramic ethnoarqueology, *Annual Review of Anthropology*, **14**, 77-102.

- Kramer, C., 1997, *Pottery in Rajasthan: Ethnoarchaeology in Two Indian Cities*, Smithsonian Institution Press, Washington.
- Kvamme, K. L., Stark, M. T. i Longacre, W. A., 1996, Alternative procedures for assessing standardization in ceramic assemblages, *American Antiquity*, **61**, 116-126.
- LaMotta, V. M. i Schiffer, M. B., 2001, Behavioral archaeology: Towards a new synthesis, a *Archaeological Theory Today* (ed. I. Hodder), 14-64, Polity Press, Cambridge.
- Latour, B., 1996, *Aramis or the love of technology*, Harvard University Press, Cambridge.
- Laubenheimer, F., 1985 *La production d'amphores en Gaule Narbonnaise*, Centre de Recherches d'Histoire Ancienne, **66**, Paris.
- Laubenheimer, F., 1990 *Le Temps des Amphores en Gaule: Vins, Sauces et Huiles*, Collection des Hespérides, Errance, Paris.
- Laudan, R., 1984, Introduction, a *The Nature of Technological Knowledge: Are Models of Scientific Change Relevant?* (ed. R. Laudan), 1-26, Reidel Publishing Company, Dordrecht.
- Law, J. (ed.), 1991, *A Sociology of Monsters: Essay on Power, Technology and Domination*, Routledge Sociological Review Monographs, **38**, Londres.
- Lawrence, S. i Shepherd, N., 2006, Historical archaeology and colonialism, a *The Cambridge Companion to Historical Archaeology* (ed. D. Hicks i C.M. Beaudry), 69-86, Cambridge University Press, Cambridge.
- Le Ny, F., 1988, *Les fours de tuiliers gallo-romains. Méthodologie. Étude technologique, typologique et statistique. Chronologie*, Documents d'Archeologie Française, **12**, Paris.
- Lemoine, C., Meille, E., Poupet, P., Barrandon, J. N. i Borderie, B., 1981, Étude de quelques altérations de composition chimique de céramiques en milieu marin et terrestre, *Revue d'Archéométrie*, Supplementaries Series, 349-360.
- Lemonnier, P., 1986, The study of material culture today: towards an anthropology of technical systems, *Journal of Anthropological Archaeology*, **5**, 147-186.
- Lemonnier, P., 1992, *Elements for an Anthropology of Technology*, Anthropological Papers of the Museum of Anthropology, University of Michigan, **88**, Ann Arbor, Michigan.
- Lemonnier, P., 1993, Introduction, a *Technological Choices: Transformation in Material Cultures since the Neolithic* (ed. P. Lemonnier), Routledge, Londres.
- Leonard, R. D., 2001, Evolutionary archaeology, a *Archaeological Theory Today* (ed. I. Hodder), 65-97, Polity Press, Cambridge.
- Leroi-Gourhan, A., 1964, *Le geste et la parole I: techniques et langage*, Albin Michel, Paris.
- Leroi-Gourhan, A., 1965, *Le geste et la parole II: la mémoire et les rythmes*, Albin Michel, Paris.
- Leroi-Gourhan, A., 1971, *Evolution et techniques: 1-2. L'Homme et la matière*, Albin Michel, Paris.
- Lévy-Garboua, L. i Blondel, S., 2002, On the rationality of cognitive dissonance, a *The Expansion of Economics: Toward an More Inclusive Social Science* (ed. S. Grossbard-Schechtman i C. Clague), 227-238, M.E. Sharpe, Nova York.

- Liou, B., 1987, L'exportation de vin de Tarraconaise d'après les épaves, a *El Vi a l'Antiguitat. Economia Producció i Comerç al Mediterrani Occidental, Actes del I Col·loqui d'Arqueologia Romana (28-30 de novembre i 1 de desembre de 1985)* (ed.), 271-284, Monografies Badalonines, **9**, Museu de Badalona, Badalona.
- Littlejohn, S. W. i Foss, K. A., 2005, *Theories of human communication*, Thomson&Wadsworth, Belmont.
- Livingstone Smith, A., 2000, Processing clay for pottery in northern Cameroon: social and technical requirements, *Archaeometry*, **42**, 1, 21-42.
- London, G. A., 1991, Standardization and variation on the work of craft specialists, a *Ceramic Ethnoarchaeology* (ed. W.A. Longacre), 182-204, University of Arizona Press, Tucson.
- Loney, H. L., 2000a, Society and technological control: A critical review of models of technological change in ceramic studies, *American Antiquity*, **65**, 4, 646-668.
- Loney, H. L., 2000b, The development of ceramic production at Casale Nuovo (Lazio): Identifying the rise of complex society in the archaeological record, a *The Emergence of State Identities in the 1st Millenium BC* (ed. E.H. Lomas i K. Lomas), Acordia, Londres.
- Loney, H. L., 2001, Pots and evolution: Response to Neff and Schiffer *et al.*, *American Antiquity*, **66**, 4, 738-741.
- Longacre, W. A. (ed.), 1991, *Ceramic Ethnoarchaeology*, University of Arizona Press, Tucson.
- Longacre, W. A., 1992, The perfect marriage: The essential joining of the ethnoarchaeology and experimental archaeology, a *Ethnoarchéologie: justification, problemes, limites, XIIe Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes* (ed. F. Audouze), 15-24, Editions APDCA, Juanles-Pins, Paris.
- Longacre, W. A., 1999, Standardization and specialization: What's the link?, a *Pottery and People: A Dynamic Interaction* (ed. J.M. Skibo i G.M. Feinman), 44-58, University of Utah Press, Salt Lake City.
- Longacre, W. A. i Skibo, J. M. (ed.), 1994, *Kalinga Ethnoarchaeology: Expanding Archaeological Method and Theory*, Smithsonian Institution Press, Washington.
- Longacre, W. A., Xia, J. i Yang, T., 2000, I want to buy a black pot, *Journal of Archaeological Method and Theory*, **7**, 273-293.
- López Mullor, A., 1985, Excavaciones en la villa romana del Roser de Calella (El Maresme, Barcelona). Campañas de 1981 y 1982, *Ampurias*, **47**, 162-208.
- López Mullor, A., 1986, *Memoria de las Excavaciones Realizadas en la Villa Romana del Roser o el Mujal (Calella, El Maresme) durante las Campañas 1981 y 1982*, Servei d'Arqueologia del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, **127**, Barcelona (inèdit).
- López Mullor, A., 1993, Los talleres anfóricos de Darró (Vilanova i la Geltrú, Barcelona). Noticia de su hallazgo, *Empúries*, **48-50**, 2, 64-76.
- López Mullor, A. i Martín i Menéndez, A., 2006, La production d'amphores gréco-italiques, Dressel 1, Lamboglia 2 et Tarraconense 1 à 3 en Catalogne, typologie et chronologie, *SFECAG*, 441-460.
- López Mullor, A. i Martín i Menéndez, A., en premsa, Tipologia i datació de les

- àmfores tarraconenses produïdes a Catalunya, a *La producció i el comerç de les àmfores de la província Hispania Tarraconensis* (ed. A. López), Museu d'Arqueologia de Catalunya, Servei de Patrimoni Arquitectònic Local, Diputació de Barcelona, Barcelona.
- López Mullor, A., Batista, R. i Zucchitello, M., 1987, La producció vitivinícola de la Tarraconense. Algunos ejemplos sintomáticos, a *El Vi a l'Antiguitat. Economia Producció i Comerç al Mediterrani Occidental, Actes del I Col·loqui d'Arqueologia Romana (28-30 de novembre i 1 de desembre de 1985)* (ed.), 319-325, Monografies Badalonines, **9**, Museu de Badalona, Badalona.
- Lyman, R. L., 2003, The influence of time averaging and space averaging on the application of foraging theory in zooarchaeology, *Journal of Archaeological Science*, **30**, 5, 595-610.
- Lyman, R. L. i O'Brien, M. J., 1998, The goals of evolutionary archaeology: History and explanation, *Current Anthropology*, **39**, 5, 615-652.
- Lyman, R. L. i O'Brien, M. J., 2006, *Measuring Time with Artifacts. A History of Methods in American Archaeology*, University of Nebraska Press, Lincoln i Londres.
- Lyman, R. L., O'Brien, M. J. i Dunell, R. C., 1997, *The Rise and Fall of Culture History*, Plenum Press, Nova York.
- Lyman, R. L., O'Brien, M. J. i Hayes, V., 1998, A mechanical and functional study of bone rods from the Richey-Roberts Clovis cache, Washington, U.S.A, *Journal of Archaeological Science*, **25**, 9, 887-906.
- Lynne Costin, C., 2000, The use of ethnoarchaeology for the archaeological study of ceramic production *Journal of Archaeological Method and Theory*, **7**, 4, 377-403.
- Llinàs, J., 1998, L'excavació de l'any 1997 Llafranc (Palafrugell, Baix Empordà), dins dels *IV Jornades d'Arqueologia de les comarques de Girona*, celebrat a Figueres, 209-214,
- Llinàs, J. i Sàgrera, J., 1993, Una construcció alt-imperial a Llafranc. Fases, estratigrafia i materials, *Cypsela*, **10**, 105-127.
- Llinàs, J. i Merino, J., 2002, Excavació arqueològica al carrer d'Isaac Peral cantonada carrer Xàvega de Llafranc (Palafrugell, Baix Empordà), a *VI Jornades d'Arqueologia de les Comarques Gironines (10-11 de maig 2002)* (ed. M.A. Martín, M. Mataró i J.M. Nolla), 259-261, Sant Joan de les Abadesses.
- Llovet, J., 2000, *Mataró. Dels Orígens de la Vila a la Ciutat Contemporània*, Edicions de Caixa Laietana, Barcelona.
- Mabry, J., Skibo, J. M., Schiffer, M. B. i Kvamme, K., 1988, Use of a falling-weight tester for assessing ceramic impact strength, *American Antiquity*, **53**, 4, 829-839.
- Mackay, C. S., 2004, *Ancient Rome. A Military and Political History*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Mackay, H., 1997, *Consumption and Everyday Life*, Sage Publications, Londres.
- MacKenzie, D. i Wacjman, J., 1985, Introduction, a *The social shaping of technology: How the refrigerator got its hum* (ed. D. MacKenzie i J. Wacjman), 1-25, Philadelphia Open University Press, Filadèlfia.
- Machado, A., Oda, E., Teruo, H., Arruda, L. i Felipe, L., 2009, Is cognitive dissonance an intrinsic property of the human mind? An experimental solution to half-

- century debate, *International Journal of Behavioral, Cognitive, Educational and Psychological Sciences*, **1**, 2, 104-108.
- Madenci, E. i Guven, I., 2005, *The finite element method and applications in engineering using Ansys*, Springer, First edition, Nova York.
- Madrid i Fernández, M., 2005, *Estudi Arqueològic i Caracterització Arqueomètrica de la "Terra Sigillata" de la Ciutat de Baetulo (Badalona)*, PhD Thesis, TDX-0105106-091209, Universitat de Barcelona, Barcelona.
- Madrid i Fernández, M. i Buxeda i Garrigos, J., 2008, Qualitat i consum ceràmic de la sigillata augustal. Noves vies d'estudi i interpretació a partir de l'arqueometria, *Empúries*, **55**, 53-66.
- Maggetti, M., 1981, Composition of Roman pottery from Lousonna (Switzerland), a *Scientific Studies in Ancient Ceramics* (ed. M.J. Hughes), 33-49, British Museum Occasional Paper, **19**, Londres.
- Majewsky, T. i Schiffer, M. B., 2001, Beyond consumption: Toward an archaeology of consumerism, a *Archaeologies of the Contemporary Past* (ed. V. Buchli i G. Lucas), 26-50, Routledge, Londres.
- Malinowski, B., 1922, *Argonauts of the Western Pacific*, Routledge and Kegan Paul, Londres.
- Malinowski, B., 1935, *Coral Gardens and Their Magic: A Study of the Methods of Tilling the Soil and of Agricultural Rites in the Trobriand Islands*, American Books Company, Nova York.
- Mallet, J. i Willmott, K., 2003, Taxonomy: Renaissance or tower of Babel?, *Trends in Ecology and Evolution*, **18**, 2, 57-59.
- Mandó, P. A., 2005, Nuclear physics and archaeometry, *Nuclear Physics A*, **751**, 393-408.
- Maniatis, Y. i Tite, M. S., 1975, A Scanning Electron Microscope Examination of the Bloating of Fired Clays, *Transactions of the British Ceramic Society*, **74**, 229-232.
- Maniatis, Y. i Tite, M. S., 1981, Technological examination of neolithic-bronze age pottery from central and southeast Europe and from the Near East, *Journal of Archaeological Science*, **8**, 59-76.
- Maniatis, Y., Simopoulos, A. i Kostikas, A., 1981, Moessbauer study of the effect of calcium content on iron oxide transformations in fired clays, *Journal American Ceramic Society*, **64**, 263 - 269.
- Maniatis, Y., Katsanos, A. i Caskey, M. E., 1982, Technological examination of low-fired terracotta statues from Ayia Irini, Kea, *Archaeometry*, **24**, 2, 191-198.
- Maniatis, Y., Simopoulos, A., Kostikas, A. i Perdikatsis, V., 1983, Effect of reducing atmospheres on minerals and iron oxides developed in fired clays: the role of Ca, *Journal American Ceramic Society*, **66**, 773 - 781.
- Maniatis, Y., Whitebread, I., Jones, R. E., Simopoulos, A., Kostikas, A. i Williams, S. K., 1984, Punic amphoras found at Corinth, Greece: An investigation of their provenance and technology, *Journal of Field Archaeology*, **11**, 205-222.
- Manly, B. F. J., 1997, *Randomization, Bootstrap and Monte Carlo Methods in Biology*, Chapman and Hall, Nova York.
- Marcet, R. i Sanmartí, E., 1989, *Empúries*, Diputació de Barcelona, Barcelona.
- Marimón Ribas, P., 2004, Las insulae baliaras en los circuitos de intercambio africano:

- La importación de alimentos (123 aC-707 dC), *L'Africa Romana*, **XV**, 1051-1076.
- Marimón Ribas, P., 2005, Comercio de vino entre el litoral peninsular de la *Hispania Tarraconensis* y las *Insulae Baliares*: Evolución y coyuntura socioeconómica, a *L'Antiguitat Clásica i la seva Pervivència a les Illes Balears* (ed. M.L. Sánchez León i M. Barceló Crespí), 201-215, XIII Jornades d'estudis històrics locals, Institut d'Estudis Baleàrics, Palma.
- Márquez Villora, J. C. i Molina Vidal, J., 2005, *Del Hibernvs a Cartago Nova. Comercio de alimentos y epigrafía anfórica grecolatina*, Barcelona.
- Martín i Menéndez, A., 2002, El conjunt arqueològic de Ca l'Arnau (Cabrera de Mar, Maresme). Un assentament romanorepublicà, *Tribuna d'Arqueologia*, 1998-1999, 211-228.
- Martín i Menéndez, A., 2004, Intervencions arqueològiques a Ca l'Arnau-Can Mateu (Cabrera de Mar) 1997-1998, a *Actes de les Jornades d'Arqueologia i Paleontologia de les Comarques de Barcelona (1996-2001)* (ed.), 376-407, Generalitat de Catalunya, Barcelona.
- Martín i Menéndez, A. i Prevosti i Monclús, M., 2003, El taller d'àmfores de Tomoví i la producció amfòrica a la Cossetània oriental, a *Territoris Antics a la Mediterrània i a la Cossetània Oriental, Actes del Simpòsium Internacional d'Arqueologia del Baix Penedès (8-10 de novembre de 2001)* (ed.), 231-237, Generalitat de Catalunya, El Vendrell.
- Martín i Menéndez, A. i Carreras Montfort, C., en preparació, Del Mujal a Xanten: Noves visions del comerç romà de vi a la Tarraconense, presentat al *Simpòsium El Vi Tarraconense i Laietà: Ahir i Avui*, celebrat el 9 i 10 de maig de 2007, a Tarragona i Teià.
- Martínez Ferreras, V., 2008, *Estudi Arqueomètric de la Producció i Difusió d'Àmfores de la Zona Central i Sud de la Costa Catalana durant els segles I aC-I dC*, PhD Thesis, TDX-0303108-115302, Universitat de Barcelona, Barcelona.
- Martínez Ferreras, V., Buxeda i Garrigós, J. i Martín i Menéndez, A., 2005, L'évolution des premières amphores romaines produites à Cabrera de Mar (Catalogne) d'après leur caractérisation archéométrique, *SFECAG*, 391-401.
- Martínez Ferreras, V., Buxeda i Garrigós, J. i López Mullor, A., 2006, La caractérisation archéométrique des amphores vinaires produites à l'Atelier du Barri Antic (Sant Boi de Llobregat, Barcelone, Espagne), *SFECAG*, 559-610.
- Martínez Ferreras, V., Buxeda i Garrigós, J., Gurt i Esparraguera, J. M. i Kilikoglou, V., 2007, Archaeometry characterization of Roman wine amphorae from Barcelona (Spain), a *Archaeometric and Archaeological Approaches to Ceramics* (ed. S.Y. Waksman), 113-119, BAR International Series, **1691**, Archaeopress, Òxford.
- Martínez Ferreras, V., Tsantini, E., Vila Socias, L., Jiménez Piqué, E. i Kilikoglou, V., 2008, Transport i emmagatzematge de les àmfores en l'Antiguitat: L'aportació de les ciències dels materials, *Empúries*, **55**, 43-55.
- Martini, K., 1998, Ancient structures and modern analysis: Investigating damage and reconstruction at Pompeii, *Automation in Construction*, **8**, 125-137.
- Martini, K., 2005, Real-time, non-linear, dynamic simulation in teaching structures: Elementary to advanced, *Proceedings of the 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference*, American Society of Engineering

- Education, Washington.
- Mason, R. B. i Tite, M. S., 1997a, The beginnings of Islamic stonepaste technology, *Archaeometry*, **36**, 1, 77 - 91.
- Mason, R. B. i Tite, M. S., 1997b, The beginnings of tin-opacification of pottery glazes, *Archaeometry*, **39**, 1, 41-58.
- Matamoros Aparicio, D., 1991, Els ancoratges antics de Vilasar de Mar, Cabrera de Mar i Mataró (el Maresme), *Laietania*, **6**, 85-98.
- MathSoft, 1999, *S-PLUS 2000. User's Guide*, Data Analysis Products Division, MathSoft, Seattle.
- Matson, F. R., 1965, Ceramic ecology: An approach to the study of early cultures of the Near East, a *Ceramics and Man* (ed. F.R. Matson), 202-217, Aldine, Chicago.
- Matthews, J., 2001, Roman life and society, a *The Oxford Illustrated History of the Roman World* (ed. J. Boardman, J. Griffin i O. Murray), 338-360, Oxford University Press, Òxford.
- Mauss, M., 1935, Les Techniques du corps, *Journal de Psychologie*, **32**, 271-293.
- McVeigh, B., 1996, Commodifying affection: Authority and gender in the everyday objects of Japan, *Material Culture*, **1**, 3, 291-312.
- Meier, P. C. i Zund, R. E., 1993, *Statistical Methods in Analytical Chemistry*, Jon Wiley & Sons, Nova York, Santa Bàrbara, Sidney i Toronto.
- Merino, J., 1996, Intervenció d'urgència a Llafranc, xamfrà dels carrers Monturiol i Xàvega (Palafrugell, Baix Empordà), dins dels *III Jornades d'Arqueologia de les comarques de Girona*, celebrat a Santa Coloma de Farners, 188-195,
- Mestres, J., 1978, Un forn de ceràmica romana a Argentona, *Quaderns de Prehistòria i Arqueologia del Maresme*, **5-6**, 1-20.
- Miller, D., 1987, *Material Culture and Mass Consumption*, Basil Blackwell, Nova York.
- Miller, D., 2002, Smelter and Smith: Iron Age Metal Fabrication Technology in Southern Africa, *Journal of Archaeological Science*, **29**, 10, 1083-1131.
- Miller, D. i Tilley, C. (ed.), 1984, *Ideology, Power, and Prehistory*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Miller, J. N. i Miller, J. C., 2002, *Estadística y Quimiometria para Química Analítica*, Prentice Hall, Madrid.
- Miró i Canals, J., 1987, El vi català a França (segles I aC-I dC). Una síntesi preliminar, a *El Vi a l'Antiguitat. Economia, Producció i Comerç al Mediterrani Occidental, Actes del I Col·loqui Internacional d'Arqueologia Romana (28-30 de novembre i 1 de desembre de 1985)* (ed.), 249-268, Monografies Badalonines, **9**, Museu de Badalona, Badalona.
- Miró i Canals, J., 1988, *La Producción de Ánforas Romanas en Catalunya. Un Estudio sobre el Comercio del Vino de la Tarraconense (siglos I aC- I dC)*, BAR International Series, **473**, Òxford.
- Mirti, P. i Davit, P., 2004, New developments in the study of ancient pottery by colour measurement, *Journal of Archaeological Science*, **31**, 741-751.
- Misa, T. J., 1988, How machines make history, and how historians (and others) help them to do so, *Science, Technology, & Human Values*, **13**, 3/4, 308-331.
- Misa, T. J., Brey, P. i Feenberg, A. (ed.), 2003, *Modernity and Technology*, The MIT Press, Cambridge.

- Mithen, S., 2005, Comments V: The need for an evolutionary perspective on the human mind, *Archaeometry*, **47**, 1, 189-192.
- Mommsen, H. i Sjöberg, B. L., 2007, The importance of the 'best relative fit factor' when evaluating elemental concentration data of pottery demonstrated with mycenaean sherds from Sinda, Cyprus, *Archaeometry*, **49**, 2, 359-371.
- Montgomery, B. K. i Reid, J. J., 1990, An instance of rapid ceramic change in the american southwest, *American Antiquity*, **55**, 1, 88-97.
- Moore, D. M. i Reynolds, R. C., 1997, *X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*, Oxford University Press, Òxford.
- Moreno Fragnals, M., 1983, *La Historia como Arma y otros Estudios sobre Esclavos Ingenios y Plantaciones*, Crítica, Barcelona.
- Morris, E. T., Black, R. G. i Tobrier, S. O., 1995, Report on the application of Finite Element Analysis to historic structures: Westminster Hall, London, *The Journal of the Society of Architectural Historians*, **54**, 3, 336-347.
- Munn, N., 1974, Spatiotemporal transformations of Gawa canoes, *Journal de la Société des Océanistes*, **33**, 39-52.
- Murray, T., 2002, Evaluating evolutionary archaeology, *World Archaeology*, **34**, 1, 47-59.
- Neff, H., 1990, Culture contact and ceramic evolution: Examples from Mesoamerica, a *The Changing Roles of Ceramics in Society: 26.000 BP to the Present* (ed. W.D. Kingery), 159-181, *Ceramics and Civilization*, **5**, The American Ceramic Society, Westerville.
- Neff, H., 1993, Theory, sampling, and analytical techniques in the archaeological study of prehistoric ceramics, *American Antiquity*, **58**, 1, 23-44.
- Neff, H., 1997, Ceramics and evolution, a *Archaeological Method and Theory* (ed. M.B. Schiffer), 141-193, **4**, Academic Press, Nova York.
- Neff, H., 2001, We have met the selectionists and it is us: Some comments on Loney's "Critical review of models of technological change in ceramic studies", *American Antiquity*, **66**, 4, 726-728.
- Neff, H., 2003, Analysis of Mesoamerican Plumbate Pottery Surfaces by Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (LA-ICP-MS), *Journal of Archaeological Science*, **30**, 1, 21-35.
- Neff, H., Bishop, R. L. i Arnold, D. E., 1988, Reconstructing ceramic production from ceramic compositional data: An example from Guatemala, *Journal of Field Archaeology*, **15**, 3, 339-348.
- Neff, H., Bishop, R. L. i Sayre, E. V., 1989, More observations on the problem of tempering in compositional studies of archaeological ceramics, *Journal of Archaeological Science*, **16**, 57-69.
- Neff, H., Larson, D. O. i Glascock, M. D., 1997, The evolution of Anasazi ceramic production and distribution: Compositional evidence from a Pueblo III site in south-central Utah, *Journal of Field Archaeology*, **24**, 473-492.
- Neupert, M. A., 1994, Strength testing archaeological ceramics: A new perspective, *American Antiquity*, **59**, 4, 709-723.
- Neustupný, E., 1971, Whither Archaeology?, *Antiquity*, **45**, 34-39.
- Nicolet, C., 1982, *Roma y la Conquista del Mundo Mediterráneo (264-27 aC). Las Estructuras de la Italia Romana*, Labor, Barcelona.



- Nieto Prieto, F. J., 2004, La ruta del vaixell i del carregament, a *Culip VIII i les Àmfores Haltern 70* (ed. C. Carreras, A. Aguilera, P. Berni, E. Garrote, P. Marimón, R. Morais, J. Moros, J. Nieto, A. Puig, J. Remesal, R. Rovira i G. Vivar), 157-158, **5**, Monografies del CASC, Girona.
- Nieto Prieto, F. J. i Raurich i Santaló, X., 1998, El transport naval de vi de la Tarraconense, a *El Vi a l'Antiguitat. Economia, Producció i Comerç al Mediterrani Occidental, Actes del II Col·loqui Internacional d'Arqueologia Romana (6-9 de maig de 1998)* (ed. M. Comas i P. Padró), 113-137, Monografies Badalonines, Badalona.
- Noble, D. F., 1984, *Forces of Production: A Social History of Industrial Automation*, Alfred A. Knopf, Nova York.
- Nolla i Brufau, J. M., 1987, Una nova àmfora catalana. La Tarraconense 1, a *El Vi a l'Antiguitat. Economia, Producció i Comerç al Mediterrani Occidental, Actes del I Col·loqui Internacional d'Arqueologia Romana (28-30 de novembre i 1 de desembre de 1985)* (ed.), 217-223, Monografies Badalonines, **9**, Museu de Badalona, Badalona.
- Nolla i Brufau, J. M. i Nieto Prieto, F. J., 1978, Alguns aspectes de la romanització al nord-est de Catalunya, a *Actes del II Col·loqui Internacional d'Arqueologia de Puigcerdà, Els Pobles Pre-Romans del Pirineu* (ed.), 235-244, Institut d'Estudis Ceretans, **2**, Puigcerdà.
- Nolla i Brufau, J. M. i Casas Blasi, J., 1984, *Carta Arqueològica de les Comarques de Girona. El Poblament d'Època Romana al Nord-Est de Catalunya*, Generalitat de Catalunya, Girona.
- Nolla i Brufau, J. M. i Solías i Arís, J. M., 1985, L'àmfora Tarraconense 1. Característiques, procedència, àrees de producció, cronologia, *Butlletí Arqueològic de la Reial Societat Arqueològica Tarraconense*, **6-7**, 107-147.
- Nolla i Brufau, J. M. i Santamaría Tirri, P., 2001, *Memòria d'Excavació Arqueològica a la Vil·la Romana del Collet de Sant Antoni (Calonge, Baix Empordà). Novembre-Desembre de 2000*, Servei d'Arqueologia del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, **3827**, Barcelona (inèdit).
- Nolla i Brufau, J. M., Canes, J. M. i Rocas, X., 1982, Un forn romà de terrissa a Llafranc (Palafrugell, Baix Empordà). Excavacions de 1980-1981, *Empúries*, **44**, 147-183.
- Nolla i Brufau, J. M., Palahí, L. i Burch, J., 1998, L'abandonament de l'*oppidum* de Castell, *Estudis del Baix Empordà*, **17**, 59-78.
- Nolla i Brufau, J. M., Prados, A., Rojas, A. i Santamaría Tirri, P., 2003, *Excavacions al Collet Est de Sant Antoni de Calonge (Baix Empordà). Any 2002. Memòria d'Excavació*, Servei d'Arqueologia del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, **4602**, Barcelona (inèdit).
- Nolla i Brufau, J. M., Santamaría Tirri, P., Sureda, M., Burch, J. i Sagraera, J., 2002, Excavacions arqueològiques al Collet de Sant Antoni de Calonge, a *VI Jornades d'Arqueologia de les Comarques Gironines (10-11 de maig 2002)* (ed. M.A. Martín, M. Mataró i J.M. Nolla), 259-261, Sant Joan de les Abadesses.
- Nolla i Brufau, J. M., Prados, A., Rojas, A., Santamaría, P. i Soler, A., 2004, La terrisseria romana del Collet de Sant Antoni de Calonge, *Jornades d'Arqueologia de les Comarques de Girona*, **VII**, 193-200.

- O'Brien, M. J. i Lyman, R. L., 1999, Meeting theoretical and methodological challenges to the future of evolutionary archaeology, *The Review of Archaeology*, **20**, 2, 14-22.
- O'Brien, M. J. i Lyman, R. L., 2000, *Applying Evolutionary Archaeology. A Systematic Approach*, Kluwer Academic Press, Nova York.
- O'Brien, M. J., Darwent, J. i Lyman, R. L., 2001, Cladistics is useful for reconstructing archaeological phylogenies: Palaeoindian points from the southeastern United States, *Journal of Archaeological Science*, **28**, 10, 1115-1136.
- O'Brien, M. J., Holland, T. D., Hoard, R. J. i Fox, G. L., 1994, Evolutionary implications of design and performance characteristics of prehistoric pottery, *Journal of Archaeological Method and Theory*, **1**, 259-304.
- Olesti i Villa, O., 1995, *El territori del Maresme en Època Republicana (s. III-I aC). Estudi d'Arqueomorfologia i Història*, Caixa d'Estalvis Laietana, Mataró.
- Olesti i Villa, O., 1998, Els inicis de la producció vinícola a Catalunya: El paper del món indígena, a *El Vi a l'Antiguitat. Economia, Producció i Comerç al Mediterrani Occidental, Actes del II Col·loqui d'Arqueologia Romana (6-9 de maig de 1998)* (ed. M. Comas i P. Padró), 246-257, Monografies Badalonines, **14**, Museu de Badalona, Badalona.
- Olesti i Villa, O., 2000, Integració i transformació de les comunitats ibèriques del Maresme durant el segle II-I aC: Un model de romanització per a la Catalunya litoral i prelitoral, *Empúries*, **52**, 55-86.
- Olin, J. S. i Franklin, A. D. (ed.), 1982, *Archaeological Ceramics*, Smithsonian Institution Press, Washington.
- Oliva, M., 1950, Restos romanos del museo. Sección lapidaria-Instalaciones de 1948, *Memoria de los Museos Arqueológicos Provinciales (1948-1949)*, **IX-X**, 74-88.
- Orfila Pons, M. i Cau Ontiveros, M. A. (ed.), 2004, *Les Ciutats Romanes del Llevant Peninsular i les Illes Balears*, Pòrtic, Barcelona.
- Orton, C., 2000, *Sampling in Archaeology*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Oxoby, R., 2004, Cognitive dissonance, status and growth of the underclass, *The Economic Journal*, **114**, 727-749.
- Padrós, P., 1998, Can Peixau. Un centre productor d'àmfores al territorium de Baetulo, a *El Vi a l'Antiguitat. Economia, Producció i Comerç al Mediterrani Occidental, Actes del II Col·loqui d'Arqueologia Romana (6-9 de maig de 1998)* (ed. M. Comas i P. Padró), 185-192, Monografies Badalonines, **14**, Museu de Badalona, Badalona.
- Paik, J. K. i Thayamballi, A. K., 2003, *Ultimate Limit State Design of Steel-Plated Structures*, John Wiley & Sons, Nova York.
- Palol i Salellas, P., 1950, Cronología de los bronceos del Collet de Sant Antoni de Calonge (Gerona), *Publicaciones del Seminario de Arqueología y Numismática Aragonesa*, **2**, 39-68.
- Panella, C., 1976, La distribuzione e i mercati, *Società romana e produzione schivistica*, **II**, 55-80.
- Pascual i Guasch, R., 1962, Centros de producción y difusión geográfica de un tipo de ánfora, dins dels *VII Congreso Nacional de Arqueología*, celebrat a Saragossa, **VII**, 334-345, Barcelona.
- Pascual i Guasch, R., 1977, Las ánforas de la Layetana, a *Méthodes classiques et*

- méthodes formelles dans l'étude des amphores, Actes del Colloque de Rome (27-19 maig de 1974)* (ed.), 47-96, École Française de Rome, **32**, Palais Farnèse, Roma.
- Pascual i Guasch, R., 1987, El desenvolupament de la viticultura a Catalunya, a *El Vi a l'Antiguitat. Economia Producció i Comerç al Mediterrani Occidental, Actes del I Col·loqui d'Arqueologia Romana (28-30 de novembre i 1 de desembre de 1985)* (ed.), 124-126, Monografies Badalonines, **9**, Museu de Badalona, Badalona.
- Peacock, D. P. S. i Williams, D. F., 1986, *Amphorae and the Roman economy. An introduction guide*, Longman Archaeology Series, Nova York.
- Pecchioni, E., Cantisani, E., Pallecci, P., Fratini, F., Buccianti, A., Pandeli, E., Rescic, S. i Conticelli, S., 2007, Characterization of the amphorae, stone ballast and stowage materials of the ships from the archaeological site of Pisa-San Rossore, Italy: Inferences on their provenance and possible trading routes *Archaeometry*, **49**, 1, 1-22.
- Pella y Forgas, J., 1883, *Historia del Ampurdán. Estudio de la Civilización en las Comarcas del Noreste de Cataluña*, **capítol X**, part II, Barcelona.
- Pena, M. J., 1998, Productors y comerciantes de vino layetano, a *El Vi a l'Antiguitat. Economia, Producció i Comerç al Mediterrani Occidental, Actes del II Col·loqui d'Arqueologia Romana (6-9 de maig de 1998)* (ed. M. Comas i P. Padró), 305-318, Monografies Badalonines, **14**, Museu de Badalona, Badalona.
- Pena, M. J. i Barreda, A., 1997, Productores de vino del nordeste de la Tarraconense. Estudio de algunos nomina sobre ánforas Laietana 1, *Faventia*, **19**, 2, 51-73.
- Peña, J. T., 2007, *Roma Pottery in the Archaeological Record*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Pérez López, C., 2004, *Técnicas de Análisis Multivariante de Datos. Aplicaciones con SPSS*, Pearson Prentice Hall, Madrid.
- Perloff, R., 2010, *The Dynamics of Persuasion. Communication and Attitudes in the 21st Century*, Routledge, Nova York.
- Petroski, H., 1992, *The Evolution of Useful Things*, Alfred A. Knopf, Nova York.
- Petroski, H., 2006, *Success Through Failure. The Paradox of Design*, Princeton University Press, Òxford.
- Pfaffenberger, B., 1992a, Social anthropology of technology, *Annual Review of Anthropology*, **21**, 491-516.
- Pfaffenberger, B., 1992b, Technological dramas, *Science, Technology, & Human Values*, **17**, 3, 282-312.
- Pfaffenberger, B., 2001, Symbols do not create meanings-activities do: Or, why symbolic anthropology needs the anthropology of technology, a *Anthropological Perspectives on Technology* (ed. M.B. Schiffer), 77-86, Amerind Foundation New World Studies Series, **5**, University of New Mexico Press, Albuquerque.
- Picon, M., 1973, *Introduction à l'Étude Technique des Céramiques Sigillées de Lezoux*, Centre de Recherches sur les Techniques Greco-Romaines, **2**, Université de Dijon, Dijon.
- Picon, M., 1986, Analyse de céramiques de l'épave de Culip IV et corrections d'altérations, *Archéonautica*, **6**, 116-119.
- Picon, M., 1991, Quelques observations complémentaires sur les altérations de

- composition des céramiques au cours du temps: Cas de quelques alcalins et alcalino-terreux, *Revue d'Archéométrie*, **15**, 117-122.
- Picon, M., 1995a, Ethnoarchéologie et recherches en laboratoire: Le cas des techniques céramiques, a *Ethnoarchéologie: Justification, Problèmes, Limites. XII Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes* (ed.), 115-126,
- Picon, M., 1995b, Pour une relecture de la céramique marocaine: caractéristiques des argiles et des produits, techniques de fabrication, facteurs économiques et sociaux, a *Ethno-archéologie méditerranéenne. Finalités, démarches et résultats* (ed. A. Bazzana i M.-C. Delaigue), 141-158, **54**, Collection de la Casa de Velázquez-CNRS, Madrid.
- Picon, M., 2002, Les modes de cuisson, les pâtes et les vernis de la Graufesenque: une mise au point, a *Céramiques de la Graufesenque et Autres Productions d'Époque Romaine. Nove Recherches. Hommages à Bettina Hoffmann* (ed. M. Genin i A. Vernhet), 139-164, *Archéologie et histoire romaine*, **7**, Éditions Monique Mergoïl, Montagnac.
- Picon, M., 2005, Quelques observations techniques sur les céramiques actuelles du Burkina Faso, transposables au cas des céramiques anciennes d'Europe Occidentale, *SFECAG*, 495-499.
- Picon, M. i Olcese, G., 1995, Per una classificazione in laboratorio della ceramiche comuni, a *Ceramica Romana e Archeometria: Lo Stato degli Studi* (ed. G. Olcese), 105-114, Edizioni All'Insegna del Giglio, Firenze.
- Piqué i Huerta, R., 1996, *Informe de l'Anàlisi Antracològica de "Can Notxa" (Argentona)*, Servei d'Arqueologia del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, **1804**, Barcelona (inèdit).
- Plog, S., 1983, Analysis of the Style in Artifacts, *Annual Review of Anthropology*, **12**, 125-142.
- Polanyi, K., 1994, *El Sustento del Hombre*, Biblioteca Mondadori, Barcelona.
- Pollard, A. M., Batt, C., Stern, B. i Young, S. M., 2007, *Analytical Chemistry in Archaeology*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Pomey, P. i Rieth, E., 2005, *L'Archéologie Navale*, Collection "Archéologiques" dirigée par Alain Ferdière, Errance, Paris.
- Pool, C. A., 2000, Why a kiln? Firing technology in the Sierra de los Tuxtlas, Veracruz (Mexico), *Archaeometry*, **42**, 61-76.
- Prevosti i Monclús, M., 1981, *Cronologia i Poblament a l'Àrea d'Iluro*, **II**, Edicions de Caixa Laietana, Mataró.
- Puerta López, C., 1998, Els contenidors de ceràmica comuna. L'altra producció dels forns laietans, a *El Vi a l'Antiguitat. Economia, Producció i Comerç al Mediterrani Occidental, Actes del II Col·loqui d'Arqueologia Romana (6-9 de maig de 1998)* (ed. M. Comas i P. Padró), 258-264, Monografies Badalonines, **14**, Museu de Badalona, Badalona.
- Quintana Abraham, C., 2006, Comerç en el món talaiòtic: El conjunt anfòric del poblat de Ses Païses (Artà, Mallorca), *Pyrenae*, **37**, 2, 47-69.
- Rathje, W. L. i Murphy, C., 1992, *Rubbish! The Archaeology of Garbage*, Harper Collins, Nova York.
- Rathossi, C., Tsolis-Katagas, P. i Katagas, C., 2004, Technology and composition of Roman pottery in northwestern Peloponnese, Greece, *Applied Clay Science*, **24**,

- 3-4, 313-326.
- Rau, C., 1896, *The Archaeological Collections of the United States National Museums in Charge of the Smithsonian Institution*, Smithsonian Contributions to Knowledge, **XXII**, 4, Smithsonian Institution Press, Washington.
- Rawson, E., 2001, The expansion of Rome, a *The Oxford Illustrated History of the Roman World* (ed. J. Boardman, J. Griffin i O. Murray), 39-59, Oxford University Press, Òxford.
- Reddy, J. N., 2005, *Introduction to Finite Element Method (3rd edition)*, Springer, Texas.
- Reid, J. J., Rathje, W. L. i Schiffer, M. B., 1974, Expanding Archaeology, *American Antiquity*, **39**, 1, 125-126.
- Reid, J. J., Schiffer, M. B. i Rathje, W. L., 1975, Behavioral Archaeology: Four Strategies, *American Anthropologist*, **77**, 4, 864-869.
- Remesal Rodríguez, J., 1986, *La Annona Militaris y la Exportación de Aceite Bético a Germania*, Editorial de la Universidad Complutense, Madrid.
- Revilla Calvo, V., 1995, *Producción Cerámica, Viticultura y Propiedad Rural en Hispania Tarraconensis (siglos I aC – III dC)*, Cuadernos de Arqueología, **8**, Barcelona.
- Revilla Calvo, V., 2002, El vi de Tàrraco durant el principat: Elits urbanes i imatges de la producció, a *Contactes i Relacions Comercials entre la Catalunya Meridional i els Pobles Mediterranis durant l'Antiguitat* (ed. J. Diloli i J. Rovira), 173-208, Citerior. Arqueologia i Ciències de l'Antiguitat, **3**, Arola editors, Tarragona.
- Revilla Calvo, V., 2004, Ánforas y epigrafía anfórica en *Hipania Tarraconensis*, a *Epigrafía Anfórica* (ed. J. Remesal), 160-196, Instrumenta, **17**, Barcelona.
- Ribas i Bertran, M., 1933, *La Romana Iluro*, La Paraula Cristiana, **XVII**, Barcelona.
- Ricciardi, V. i Simon, H. K., 2000, What is Behavioral Finance?, *Business, Education and Technology*, **2**, 2, 1-9.
- Rice, P. M. (ed.), 1984, *Pots and Potters: Current Approaches in Ceramic Archaeology*, UCLA Institute of Archaeology Monograph, **24**, University of California, Los Angeles.
- Rice, P. M., 1987, *Pottery Analysis. A Source Book*, University of Chicago Press, Chicago.
- Rice, P. M., 1991, Specialization, standardization, and diversity. A retrospective, a *The Ceramic Legacy of Anna O. Shepard* (ed. R.L. Bishop i F.W. Lange), 257-279, University of Colorado Press, Niwot.
- Riederer, J., 2004, Thin section microscopy applied to the study of archaeological ceramics, *Hyperfine Interactions*, **154**, 1-4, 143-158.
- Riera Rullan, M. i Orfila Pons, M., 2005, Els nivells d'època antiga de l'excavació arqueològica de 1999 a la Catedral de Mallorca, a *L'Antiguitat Clásica i la seva Pervivència a les Illes Balears* (ed. M.L. Sánchez León i M. Barceló Crespi), 313-328, XIII Jornades d'estudis històrics locals, Institut d'Estudis Baleàrics, Palma.
- Rigo Jovells, A., 1996, *Memòria de l'Excavació Arqueològica Realitzada a Can Notxa (Argentona, Maresme). Gener-Febrer de 1994*, Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, **1804**, Barcelona (inèdit).
- Ripollès, P. P., 2002, La moneda romana imperial y su circulación en Hispania, *Archivo*

- Español de Arqueología*, **LXXV**, 185-186, 195-214.
- Robb, J. E., 1988, The Archaeology of Symbols, *Annual Review of Anthropology*, **27**, 329-346.
- Roberts, J. P., 1963, Determination of the firing temperature of ancient ceramics by measurement of thermal expansion, *Archaeometry*, **6**, 21-25.
- Roldán, J. M., 1991, *Historia de Roma. Tomo 1, La República Romana*, Cátedra, Madrid.
- Rossiter, J. J., 1981, Wine and oil processing at Roman farms in Italy, *Phoenix*, **35**, 345-361.
- Rostovtzeff, M., 1972, *Historia Social y Económica del Imperio Romano*, Espasa, Madrid.
- Roux, V., 2003, Ceramic standardization and intensity of production: Quantifying degrees of specialization, *American Antiquity*, **68**, 4, 768-782.
- Ruestes Bitrià, C., 2002, *El Poblament Antic a la Laietània Litoral (del Besós a la Riera de Caldes): L'Aplicació d'un GIS (Sistema d'Informació Geogràfica) a l'Estudi de la seva Evolució i les seves Relacions Espacials*, PhD Thesis, TDX-0412103-103520, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona.
- Russell, B. H., 2006, *Research Methods in Anthropology. Qualitative and Quantitative Approaches*, Altamira Press, Òxford.
- Rye, O. S., 1976, Keeping your temper under control: Materials and manufacture of papuan pottery, *Archaeology and Physical Anthropology in Oceania*, **11**, 2, 106-137.
- Rye, O. S., 1981, *Pottery Technology: Principles and Reconstruction*, Taraxacum Press, Washington.
- Sackett, J. R., 1982, Approaches to style in lithic archaeology, *Journal of Anthropological Archaeology*, **1**, 59-112.
- Sackett, J. R., 1984, Style and ethnicity in the Kalahari: A reply to Weissner, *American Antiquity*, **50**, 154-159.
- Sanmartí, E., 2004, From local groups to early states: The development of complexity in protohistoric Catalonia, *Pyrenae*, **35**, 1, 7-42.
- Sanmartí, J., Bruguera, R. i Miñarro, M., 2004, Las ánforas ibéricas de la costa de Catalunya, *Documents d'Archéologie Méridionale*, **27**, 379-403.
- Santamaria Tirri, P. i Pedret, J., 2005, *Memòria de la Prospecció amb Georadar (G.P.R). Vil·la Romana del Collet (Sant Antoni de Calonge)*, Servei d'Arqueologia del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, **5379**, Barcelona (inèdit).
- Sayre, E. V., Murrenhoff, A. i Weick, C. F., 1958, *Proceedings of the Boston Museum of Fine Arts Seminar, September 1958*, **Report 508**, Brookhaven National Laboratory, Nova York.
- Schaniel, W., 1988, New technology and cultural change in traditional societies, *Journal of Economical Issues*, **22**, 493-498.
- Schiffer, M. B., 1972, Archaeological Context and Systemic Context, *American Antiquity*, **37**, 2, 156-165.
- Schiffer, M. B., 1976, *Behavioral Archaeology*, Academic Press, Nova York.
- Schiffer, M. B., 1978, Methodological Issues in Ethnoarchaeology, a *Explorations in Ethnoarchaeology* (ed. R.A. Gould), 229-247, University of New Mexico Press,

- Albuquerque.
- Schiffer, M. B., 1983, Toward the Identification of Formation Process, *American Antiquity*, **48**, 4, 675-706.
- Schiffer, M. B., 1987, *Formation Processes of the Archaeological Record*, University of New Mexico Press, Albuquerque.
- Schiffer, M. B., 1988, The structure of archaeological theory, *American Antiquity*, **53**, 3, 461-485.
- Schiffer, M. B., 1991, *The Portable Radio in American Life*, The University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- Schiffer, M. B., 1992, *The technological perspectives of behavioral change*, University of Arizona Press, Tucson.
- Schiffer, M. B., 1995, Social theory and history in behavioral archaeology, a *Expanding Archaeology* (ed. J.M. Skibo, W.H. Walker i A.E. Nielsen), 22-35, University of Utah Press, Salt Lake City.
- Schiffer, M. B., 1996, Some relationships between behavioral and evolutionary archaeologies, *American Antiquity*, **61**, 4, 643-662.
- Schiffer, M. B., 2000, Indigenous theories, scientific theories and product histories, a *Matter, Materiality and Modern Culture* (ed. P.G. Brown), 72-96, Routledge, Londres.
- Schiffer, M. B. (ed.), 2001a, *Anthropological Perspectives on Technology*, Amerind Foundation New World Studies Series, **5**, University of New Mexico Press, Albuquerque.
- Schiffer, M. B., 2001b, The explanation of long-term technological change, a *Anthropological Perspectives on Technology* (ed. M.B. Schiffer), 215-235, Amerind Foundation New World Studies series, **5**, University of New Mexico Press, Albuquerque.
- Schiffer, M. B., 2002, Studying technological differentiation: The case of 18th-century electrical technology, *American Anthropologist*, **104**, 1148-1161.
- Schiffer, M. B., 2003, Comments II: Properties, performance characteristics and behavioural theory in the study of technology, *Archaeometry*, **45**, 1, 169-172.
- Schiffer, M. B., 2005a, The electric lighthouse in the nineteenth century: Aid to navigation and political technology, *Technology and Culture*, **45**, 275-305.
- Schiffer, M. B., 2005b, The devil is in the details: The cascade model of invention processes, *American Antiquity*, **70**, 485-505.
- Schiffer, M. B., en premsa, Expanding ethnoarchaeology: Historical evidence and model-building in the study of technological change, a *Oxford Handbook of Engineering and Technology in the Classical World* (ed. J.P. Oleson), Oxford University Press, Oxford.
- Schiffer, M. B. i Skibo, J. M., 1987, Theory and experiment in the study of technological change, *Current Anthropology*, **28**, 5, 595-622.
- Schiffer, M. B. i Skibo, J. M., 1989, A provisional theory of ceramic abrasion, *American Anthropologist*, **91**, 1, 101-115.
- Schiffer, M. B. i Skibo, J. M., 1997, The explanation of artifact variability, *American Antiquity*, **62**, 1, 27-50.
- Schiffer, M. B. i Miller, A. R., 1999a, A behavioral theory of meaning, a *Pottery and People. A Dynamic Interaction* (ed. J.M. Skibo i G.M. Feinman), 199-217,

- Foundations of Archaeological Inquiry, The University of Utah Press, Salt Lake City.
- Schiffer, M. B. i Miller, A. R., 1999b, *The Material Life of Human Beings: Artifacts, Behavior, and Communication*, Routledge, Londres.
- Schiffer, M. B., Butts, T. C. i Grimm, K., 1994a, *Taking Charge: The Electric Automobile in America*, Smithsonian Institution Press, Washington.
- Schiffer, M. B., Hollenback, K. L. i Bell, C. L., 2003, *Draw the Lightning Down: Benjamin Franklin and Electrical Technology in the Age of Enlightenment*, University of California Press, Berkeley.
- Schiffer, M. B., Skibo, J. M., Boelke, T. C., Neupert, M. A. i Aronson, M., 1994b, New perspectives on experimental archaeology: Surface treatments and thermal response of the clay cooking pot, *American Antiquity*, **59**, 2, 197-217.
- Schlicht, E., 1983, *Cognitive Dissonance in Economics*, Darmstadt Discussion Papers in Economics, **26**, Darmstadt Technical University, Darmstadt.
- Schmitt, A., 1989, *Méthodes Géochimiques, Pétrographiques, et Minéralogiques Appliquées à la Détermination de l'Origine des Céramiques Archéologiques*, PhD Thesis, Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux III, Burdeus.
- Schmitt, A., 1998, Amphorae from Lyons: Petrographic and chemical arguments, *Archaeometry*, **40**, 293-310.
- Schwedt, A., Mommsen, H., Zacharias, N. i Buxeda i Garrigós, J., 2006, Analcime crystallization and compositional profiles - comparing approaches to detect post-depositional alterations in archaeological pottery, *Archaeometry*, **48**, 2, 237-251.
- Senjanović, I., Rudan, S., Indof, J. i Radić Rossi, I., 2004, Strength analysis of the Mediterranean amphorae (an outing into the past), *Brodo Gradnja-Ship Bulding*, **52**, 2 149-153.
- Shaw, J. L., Van de Moortel, A., Day, P. M. i Kilikoglou, V., 2001, *A LM IA Ceramic Kiln in South-Central Crete. Function and Pottery Production*, American School of Classical Studies at Athens, **30**, Hesperia, Amsterdam.
- Shennan, S., 1997, *Quantifying Archaeology*, Edinburgh University Press, Edinburgh.
- Shennan, S. J., 2000, Population, culture, history, and the dynamics of culture change, *Current Anthropology*, **41**, 5, 811-935.
- Shennan, S. J. i Wilkinson, J. R., 2001, Ceramic style change and neutral evolution: A case study from Neolithic Europe, *American Antiquity*, **66**, 4, 577-594.
- Shepard, A. O., 1956, *Ceramics for the Archaeologist*, Carnegie Institution of Washington Publication, **609**, Washington.
- Silvino, T., Poux, M. i Garnier, N., 2005, Où est passé le vin de bétique? Nouvelles données sur le contenu des amphores dites «à sauces de poisson et à saumures» de typres Dressel 7/11, Pompéi VII, Beltrán II (I<sup>er</sup> s. av. J.-C.-II<sup>e</sup> s. apr. J.-C.), *SFECAG*, 501-514.
- Sillar, B., 1996, The dead and the drying; techniques for transporting people and things in the Andes, *Journal of Material Culture*, **1**, 3, 259-289.
- Sillar, B., 2000, Dung by preference: the choice of fuel as an example of how Andean pottery production is embedded within wider technical, social and economic practices, *Archaeometry*, **42**, 1, 43-60.
- Sillar, B., 2003, Comments III: Technological choices and experimental archaeology, *Archaeometry*, **45**, 1, 173-181.



- Sillar, B. i Tite, M. S., 2000, The challenge of 'technological choices' for materials science approaches in archaeology, *Archaeometry*, **42**, 1, 2-20.
- Skibo, J. M., 1992, *Pottery Function: A Use-Alteration Perspective*, Plenum, Nova York.
- Skibo, J. M., 1994, The Kalinga cooking pot: an ethnoarchaeological and experimental study of technological change, a *Kalinga Ethnoarchaeology: Expanding Archaeological Method and Theory* (ed. W.A. Longacre i J.M. Skibo), 113-126, Smithsonian Institution Press, Washington.
- Skibo, J. M. i Schiffer, M. B., 1995, The clay cooking pot: An exploration of women's technology, a *Expanding Archaeology* (ed. J.M. Skibo, W.H. Walker i A.E. Nielsen), 80-91, Salt Lake City.
- Skibo, J. M. i Schiffer, M. B., 2001, Understanding artifact variability and change: A behavioral framework, a *Anthropological Perspectives on Technology* (ed. M.B. Schiffer), 139-149, Amerind Foundation New World Studies Series, **5**, University of New Mexico Press, Albuquerque.
- Skibo, J. M. i Walker, W. H., 2002, Ball courts and ritual performance, a *The Joyce Well Site: On the Frontier of the Casas Grandes World* (ed. J.M. Skibo, E.B. McCluney i W.H. Walker), 107-128, University of Utah Press, Salt Lake City.
- Skibo, J. M. i Schiffer, M. B., 2008, *People and Things. A Behavioral Approach to Material Culture*, Springer, Nova York.
- Skibo, J. M., Schiffer, M. B. i Kowalski, N., 1989a, Ceramic style analysis in archaeology and ethnoarchaeology: Bridging the analytical gap, *Journal of Anthropological Archaeology*, **8**, 388-409.
- Skibo, J. M., Schiffer, M. B. i Reid, K. C., 1989b, Organic-tempered pottery: An experimental study, *American Antiquity*, **54**, 1, 122-146.
- Smith, M. R. i Marx, L., 1997, *Historia y determinismo tecnològico*, Alianza, Madrid.
- Smith, R. E., 1993, Integrating information from advertising and trial: Processes and effects on consumer response to product information, *Journal of Marketing Research*, **30**, 2, 204-219.
- Sneath, P. H. A. i Sokal, R. R., 1973, *Numerical Taxonomy. The Principles and Practice of Numerical Classification*, A series of books in biology, W.H. Freeman, San Francisco.
- Snibbe, A. C. i Markus, H. R., 2005, You can't always get what you want: Educational attainment, agency, and choice, *Journal of Personality and Social Psychology*, **88**, 703-720.
- Sokal, R. R. i Rohlf, F. J., 1986, *Introducción a la Bioestadística*, Editorial Reverté, Barcelona.
- Stark, B. L., 1995, Problems in analysis of standardization and specialization in pottery, a *Ceramic Production in the American Southwest* (ed. J.B. Mills i P.L. Crowl), 231-267, University of Arizona Press, Tucson.
- Stark, M. T., 1991, Ceramic production and community specialization: A Kalinga ethnoarchaeological study, *World Archaeology*, **23**, 64-78.
- Stark, M. T., Bishop, R. L. i Miksa, E. J., 2000, Ceramic technology and social boundaries: Cultural practices in Kalinga clay selection and use, *Journal of Archaeological Method and Theory*, **7**, 4,
- Steele, C. M., 1988, The psychology of self-affirmation: Sustaining the integrity of the

- self, a *Advances in experimental social psychology* (ed. L. Berkowitz), 261-302, Academic Press, San Diego.
- Steponaitis, V., 1979, Prehistoric Pottery from Moundville, Alabama. Some Technological Findings, *National Bureau of Standards*, 1-10.
- Steponaitis, V., 1983, *Ceramics, Chronology and Community Patterns: An Archaeological Study at Moundville*, Academic Press, Nova York.
- Steponaitis, V., 1984, Technological studies of prehistoric pottery from Alabama: Physical properties and vessel function, a *The Many Dimensions of Pottery. Ceramics in Archaeology and Anthropology* (ed. S.E. Van der Leeuw i A.C. Pritchard), 79-127, University of Amsterdam, Amsterdam.
- Stimmell, C., Heimann, R. B. i Hancock, R. G. V., 1982, Indian pottery from the Mississippi valley: Coping with bad raw materials, a *Archaeological Ceramics* (ed. J.S. Olin i A.D. Franklin), 219-228, Smithsonian Institution Press, Washington.
- Stone, J. i Cooper, J., 2000, A self-standards model of cognitive dissonance, *Journal of Experimental Social Psychology*, **37**, 3, 228-243.
- Streeten, A. D. F., 1982, Textural analysis: An approach to the characterization of sand tempered ceramics, a *Current Research in Ceramics: Thin-Section Studies* (ed. I.C. Freestone, C. Johns i T.W. Potter), 123-134, British Museum Occasional Paper, **32**, Londres.
- Sullivan, A. P., 1978, Inference and evidence: A discussion of the conceptual problems, a *Advances in Archaeological Method and Theory* (ed. M.B. Schiffer), 183-222, **1**, Academic Press, Nova York.
- Szabo, B. i Babuška, I., 1991, *Finite Element Analysis*, John Wiley & Sons, Nova York.
- Tangri, D. i Wright, R. V. S., 1993, Multivariate analysis of compositional data: Applied comparisons favour standard principal component analysis over Aichinson's loglinear contrast method, *Archaeometry*, **35**, 1, 103-112.
- Tavris, C. i Aronson, E., 2007, *Mistakes Were Made (But Not By Me). Why We Justify Foolish Beliefs, Bad Decisions, and Hurtful Acts*, Harcourt, Inc., Orlando.
- Tchernia, A., 1971, Les amphores vinaires de Tarraconaise et leur exportation au début de l'empire, *Archivo Español de Arqueología*, **XLIV**, 38-84.
- Tchernia, A., 1986, *Le Vin de l'Italie Romaine. Essai d'Histoire Économique d'Après les Amphores*, École Française de Rome, Roma.
- Tchernia, A., 1987, Modèles économiques et commerce du vin à la fin de la République et au début de l'Empire, a *El Vi a l'Antiguitat. Economia Producció i Comerç al Mediterrani Occidental, Actes del I Col·loqui d'Arqueologia Romana (28-30 de novembre i 1 de desembre de 1985)* (ed.), 327-336, Monografies Badalonines, **9**, Museu de Badalona, Badalona.
- Tchernia, A. i Zevi, F., 1972, Amphores vinaires de Campanie et de Tarraconaise à Ostie, *Recherches sur les amphores romaines*, 35-68.
- Tchernia, A. i Villa, J. P., 1977, Notes sur le matériel recueilli dans la fouille d'un atelier d'amphores à Velaux (B. du R.), a *Méthodes classiques et méthodes formelles dans l'étude des amphores, Actes del Colloque de Rome (27-19 maig de 1974)* (ed.), 231-239, École Française de Rome, **32**, Palais Farnèse, Roma.
- Temin, P., 2001, A market economy in the early Roman empire, *The Journal of Roman Studies*, **91**, 169-181.

- Thierrin-Michael, G., 1991, Roman wine amphorae: Production sites in Italy and imports to Switzerland, a *International Symposium on Archaeometry* (ed. E. Pernicka i G.A. Wagner), 523-532, Heidelberg.
- Thierrin-Michael, G. i Picon, M., 1994, Les amphores de l'Italie: Identification des exportations, a *Ceramica Romana e Archeometria: Lo Stato degli Studi* (ed. G. Olcese), 143-151, Firenze.
- Thomas, N., 1991, *Entangled Objects: Exchange, Material Culture, and Colonialism in the Pacific*, Harvard University Press, Cambridge.
- Thomsen, C. J., 1848, *A Guide to Northern Antiquities*, National Museum of Copenhagen, Copenhagen.
- Tilley, C., 2002, Metaphor, materiality and interpretation, a *The Material Culture Reader* (ed. V. Buchli), 23-26, Berg, Oxford.
- Tite, M. S., 1999, Pottery production, distribution and consumption. The contribution of the physical sciences, *Journal of Archaeological Method and Theory*, **6**, 181-233.
- Tite, M. S. i Maniatis, Y., 1975a, Scanning Electron Microscopy of Fired Calcareous Clays, *Transactions and Journal of the British Ceramic Society*, **74**, 1, 19-22.
- Tite, M. S. i Maniatis, Y., 1975b, Examination of ancient pottery using the Scanning Electron Microscope, *Nature*, **257**, 122 - 123.
- Tite, M. S. i Kilikoglou, V., 2002, Do we understand cooking pots and is there an ideal cooking pot?, a *Modern Trends in Scientific Studies on Ancient Ceramics* (ed. V. Kilikoglou, A. Hein i Y. Maniatis), 1-8, BAR International Series, **1011**, Archaeopress, Oxford.
- Tite, M. S., Kilikoglou, V. i Vekinis, G., 2001, Review article: strength, toughness and thermal shock resistance of ancient ceramics, and their influence on technological choice, *Archaeometry*, **43**, 3, 301-324.
- Tremlin, T., 2006, *Minds and gods: The cognitive foundations of religion*, Oxford University Press, Oxford.
- Tremoleda i Trilla, J., 1987, La producció del forn de Palamós (Baix Empordà), a *El Vi a l'Antiguitat. Economia Producció i Comerç al Mediterrani Occidental, Actes del I Col·loqui d'Arqueologia Romana (28-30 de novembre i 1 de desembre de 1985)* (ed.), 210-216, Monografies Badalonines, **9**, Museu de Badalona, Badalona.
- Tremoleda i Trilla, J., 1998, Pvbliivs Vsvlenvs Veiento. Un magistrat narbonès amb propietats al nord de la Tarraconense, a *Actes del XI Col·loqui Internacional d'Arqueologia de Puigcerdà, Comerç i Vies de Comunicació (1000 aC-700 dC)* (ed. M. Comas i P. Padró), 231-241, Puigcerdà.
- Tremoleda i Trilla, J., 2000, *Industria y Artesanado Cerámico de Época Romana en el Nordeste de Catalunya (época augustea y altoimperial)*, BAR International Series, **835**, Archaeopress, Oxford.
- Tremoleda i Trilla, J., 2005, Un nou inversor itàlic en la viticultura de la *Tarraconensis*: Publi Baebi Tuticà, *Pyrenae*, **36**, 2, 115-140.
- Trigger, B., 1992, *Historia del Pensamiento Arqueológico*, Crítica, Barcelona.
- Tsantini, E., 2007, *Estudi de la Producció i la Distribució d'Àmfores Ibèriques en el NE Peninsular a través de la seva Caracterització Arqueomètrica*, PhD Thesis, TDX-0305107-083203, Universitat de Barcelona, Barcelona.

- Turner, V., 1967, *The Forest of Symbols*, Cornell University Press, Nova York.
- Van As, A. i Jacobs, L., 1995, An examination of the clays probably used by the ancient potters of Lehun (Jordan), *Newsletter: Department of Pottery Technology*, **13**, 14-25.
- Van der Leeuw, S. E., 1984, Pottery manufacture: Some complications for the study of trade, a *Pots and Potters: Current Approaches in Ceramic Archaeology* (ed. P.M. Rice), 55-69, UCLA Institute of Archaeology Monograph, **24**, University of California, Los Angeles.
- Van der Leeuw, S. E., 1991, Variation, variability, and explanation in pottery studies, a *Ceramic Ethnoarchaeology* (ed. W.A. Longacre), 11-39, University of Arizona Press, Tucson.
- Van der Leeuw, S. E., 1993, Giving the potter a choice: Conceptual aspects of pottery techniques, a *Technological Choices: Transformations in Material Cultures since the Neolithic* (ed. P. Lemonnier), 238-288, Routledge, Londres.
- Van Es, B. i Hoogendorm, A., 1990, Kernel estimation in Wicksell's corpuscle, *Biometrika*, **77**, 1, 139-145.
- Vandiver, P., 2001, The role of materials research in ceramics and archaeology, *Annual Review of Materials Research*, **31**, 373-385.
- Vane-Wright, R. I., 2003, Indifferent philosophy versus almighty authority: On consistency, consensus and unitary taxonomy, *Sistematics and Biodiversity*, **1**, 3-11.
- Vekinis, G. i Kilikoglou, V., 1998, Mechanical performance of quartz-tempered ceramics. Part II, hertzian strength, wear resistance and applications to ancient ceramics, *Archaeometry*, **40**, 2, 281-292.
- Velde, B. i Druc, I. C., 1999, *Archaeological Ceramic Materials. Origin and Utilization*, Springer, Berlin.
- Vila Socias, L., 2005, *Estudi arqueomètric i arqueològic de les àmfores Pascual 1 procedents del centre productor de Llafranc (Palafrugell, Girona)*, Diploma d'Estudis Avançats, Universitat de Barcelona, Barcelona (inèdit).
- Vila Socias, L., 2010, Canvi tecnològic, disseny ceràmic i simulació virtual: El cas de les àmfores romanes —O, la mida és realment tan important?, *Mayurqa. Revista del Departament de Ciències Històriques i Teoria de les Arts*, **33**, 161-174.
- Vila Socias, L. i Buxeda i Garrigós, J., 2005, L'anàlisi arqueomètrica i implicacions estadístiques en l'estudi ceràmic, *Revista del Col·legi Oficial de Llicenciats i Doctors en Filosofia i Lletres i Ciències de les Illes Balears*, **17**, 8-13.
- Vila Socias, L. i Buxeda i Garrigós, J., en premsa, *In vino veritas*, Part I. Distribution et consommation du vin pendant le changement de l'Ère: Le rôle de la ville romaine d'Emporiae, *SFECAG*,
- Vila Socias, L., Buxeda i Garrigós, J. i Tremoleda i Trilla, J., 2005, Caracterització arqueomètrica de la producció d'àmfores Pascual 1 i Dressel 7/11 del taller romà de Llafranc (Palafrugell, Catalunya), *SFECAG*, 761-769.
- Vila Socias, L., Buxeda i Garrigós, J. i Tremoleda i Trilla, J., 2006, Amphores romaines de l'Haute-Empire: Caractérisation archéométrique de l'atelier du Collet de Sant Antoni de Calonge (Girona, Espagne), *SFECAG*, 691-702.
- Vila Socias, L., Hein, A., Kilikoglou, V. i Buxeda i Garrigós, J., 2008, Disseny amforal i canvi tecnològic al voltant del canvi d'Era: L'aportació de l'anàlisi d'elements

- finits, *Empúries*, **55**, 31-42.
- Vila Socias, L., Buxeda i Garrigós, J., Kilikoglou, V. i Hein, A., en premsa-a, Roman amphorae around the change of Era. Production and consumption patterns in the north-east of the Iberian Peninsula, a *Vessels Inside and Outside* (ed. T.B. Katalin), Archaeopress, Òxford.
- Vila Socias, L., Martínez Ferreras, V., Buxeda i Garrigós, J. i Kilikoglou, V., en premsa-b, Differences in technological and functional models of contemporary amphorae production in neighbouring areas, dins dels *International Symposium on Archaeometry* celebrat a Quebec, Quebec, Publications in Archaeometry-Université Laval
- Vila Socias, L., Buxeda i Garrigós, J., Tarongí i Vilaseca, F. i Cardell i Perelló, J., en preparació, In vino veritas, Part II: Un conjunt d'àmfores tardorepublicanes de la Palma romana,
- Vivar, G., 2004, Els objectes de la tripulació, a *Culip VIII i les àmfores Haltern 70* (ed. C. Carreras, A. Aguilera, P. Berni, E. Garrote, P. Marimón, R. Morais, J. Moros, J. Nieto, A. Puig, J. Remesal, R. Rovira i G. Vivar), 147-154, **5**, Monografies del CASC, Girona.
- Walker, W. H., 2001, Ritual technology in an extranatural world, a *Anthropological Perspectives on Technology* (ed. M.B. Schiffer), 87-106, Amerind Foundation New World Studies Series, **5**, University of New Mexico Press, Albuquerque.
- Weigand, P. C., Harbottle, G. i Sayre, E. V., 1977, Turquoise sources and source analysis: Mesoamerica and the Southwestern USA, a *Exchange systems in prehistory* (ed. T. K. Earle i J. E. Ericson), 15-34, Academic Press, Nova York.
- Wentworth, C. K., 1922, A scale of grade and class terms for clastic sediments, *Journal of Geology*, **30**, 377-392.
- Westen, D., Blagov, P., Harenski, K., Kilts, C. i Hamann, S., 2006, Neural bases of motivated reasoning: An fMRI study of emotional constraints on partisan political judgment in the 2004 U.S. presidential election, *Journal of Cognitive Neuroscience*, **18**, 11, 1947-1958.
- Wheeler, M., Ziman, J. i Boden, M. A. (ed.), 2002, *The Evolution of Cultural Entities*, Oxford University Press, Òxford.
- Whiston, C., 1987, *X-Ray Methods*, Analytical Chemistry by Open Learning, Thames Polytechnic, John Wiley & Sons, Londres.
- Whitbread, I. K., 1995, *Greek Transport Amphorae. A Petrological and Archaeological Study*, Fitch Laboratory Occasional Paper, **4**, The British School at Athens, Atenes.
- Wicksell, S. D., 1925, Thre corpuscle problem. A mathematical study of a biometric problem, *Biometrika*, **17**, 1-2, 84-99.
- Wilk, R. R., 2001, Towards an archaeology of needs, a *Anthropological Perspectives on Technology* (ed. M.B. Schiffer), 107-122, Amerind Foundation New World Studies Series, **5**, University of New Mexico Press, Albuquerque.
- Wilson, M. J., 1987, *A Handbook of Determinative Methods in Clay Mineralogy*, Blackie, Glasgow i Londres.
- Wilson, M. J. i Nadeau, P. H., 1985, Interstratified clay minerals and weathering processes, a *The Chemistry of Weathering* (ed. J.I. Drever), 97-118, D. Reidel Publishing Co., Dordrecht.

- Wilson, T., 1891, Forms of ancient arrow-heads, *American Anthropologist*, **4**, 58-63.
- Wobst, H. M., 1977, Stylistic behavior and information exchange, a *For the Director: Research Essays in Honor of James B. Griffin* (ed. C.E. Cleland), 317-342, Anthropological Papers of the Museum of Anthropology, University of Michigan, **61**, Ann Arbor, Michigan.
- Woolf, G., 1992, Imperialism, empire and the integration of the Roman economy, *World Archaeology*, **23**, 3, 283-293.
- Yellen, J., 1977, *Archaeological Approaches to the Present: Models for Reconstructing the Past*, Academic Press, Nova York.
- Young, R. A., 1996, *The Rietveld Method*, International Union of Crystallography, Oxford Sciences Publications, Oxford.
- Zedeño, M. N., 2000, On what people make of places: A behavioral cartography, a *Social Theory in Archaeology* (ed. M.B. Schiffer), 97-111, University of Utah Press, Salt Lake City.
- Zevi, F., 1966, Appunti sulle anfore romane. La tavola tipologica del Dressel, *Archeologia Classica*, **XVIII**, 2, 208-247.
- Zienkiewicz, O. Z. i Taylor, R. L., 1994, *El Método de los Elementos Finitos*, **1**, CIMNE, Barcelona.
- Zienkiewicz, O. Z. i Taylor, R. L., 2004, *El Método de los Elementos Finitos*, **2**, CIMNE, Barcelona.