

Departament de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia
Universitat de Barcelona

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

**Estudi arqueomètric i arqueològic de la
producció i difusió d'àmfores vinàries de la
zona central i sud de la costa catalana
durant els segles I aC i I dC**

Verònica Martínez Ferreras

Tesi Doctoral dirigida per:

Dr. Jaume Buxeda i Garrigós
Professor agregat d'Arqueologia

**METODOLOGIA: APLICACIONS DE LES CIÈNCIES
DELS MATERIALS A L'ESTUDI DE LES ÀMFORES**

3.1. L'arqueologia i les ciències dels materials: la caracterització de la ceràmica arqueològica

L'estudi i la posterior publicació dels contextos arqueològics on són presents les àmfores del nord-est peninsular han donat lloc a grans obres de síntesi que permeten delimitar el marc cronològic i espacial de la seva producció i difusió. La interacció de diverses disciplines de la ciència arqueològica ha contribuït enormement en la reconstrucció històrica del context econòmic, social, funcional i cultural que motivà la creació i la utilització d'aquests contenidors, com s'ha vist al Capítol 2.

Des de l'inici, amb la construcció de les tipologies ceràmiques de caràcter descriptiu, fins l'actualitat, els estudis sobre les ceràmiques arqueològiques han estat enfocats en corrents teòriques i línies d'investigació diferents, que van des de la corrent processualista dels anys 1960, l'arqueologia del comportament dels anys 1970 i l'arqueologia evolucionista i post-processual dels anys 1980 i 1990, entre d'altres.

L'enfoc analític que Renfrew (1977) aportà a l'estudi de la ceràmica arqueològica va ampliar els criteris d'anàlisi a considerar. I, des de "l'ecologia ceràmica", se li conferí a la ceràmica una definició de tipus més ecològic, com a matèria prima natural que esdevindrà un producte de la terrisseria com a resultat de l'aplicació de diversos processos tecnològics (Matson, 1965: 202; Rice, 1987, 1990b).

Tanmateix, altres estudis confereixen importància al context cultural de producció i ús de la ceràmica, interessant-se per les eleccions del ceramista i els compromisos adoptats durant la cadena operacional per tal d'obtenir el producte manufacturat desitjat (van der Leeuw, 1984; Braun, 1983; Sillar i Tite, 2000).

Des de finals dels anys 1950 i sobretot, a partir dels anys 1980, diversos estudis s'han centrat en la importància de l'aplicació de les ciències dels materials i de la comparació etnogràfica en els estudis sobre ceràmica arqueològica. L'anàlisi de la pasta ceràmica mitjançant tècniques físico-químiques i petrogràfiques aporta una gran informació sobre els constituents i el procés de manufactura dels objectes ceràmics que la metodologia arqueològica, per si mateix, no pot proporcionar. D'aquesta manera, es caracteritzen ceràmiques arqueològiques mitjançant tècniques d'anàlisi que permeten estimar la seva provinença, els processos tecnològics de fabricació i les seves característiques funcionals (Tite, 1991). La contrastació de les dades arqueomètriques

amb la informació arqueològica aporta dades específiques del procés de fabricació, del context polític, econòmic, social i cultural en el que es desenvolupen aquestes activitats.

3.2. La provenença

La finalitat dels estudis de provenença és la localització de l'àrea geogràfica on va ser produïda la ceràmica en estudi. Aquesta àrea d'origen de les ceràmiques presenta unes característiques geològiques específiques. La identificació de l'àrea geològica es pot establir a partir de criteris d'abundància i a partir de la disposició espacial que presenten les restes arqueològiques relacionades amb la producció: forns, abocadors de material ceràmic procedent de la seva fabricació, instruments i equipaments utilitzats pel ceramista i els rebuigs de la fabricació.

A partir dels anys 1970 es van establir les bases dels estudis de provenença (Picon, 1973, 1984; Weigand *et al.*, 1977: 24; Schneider *et al.*, 1979; Rands i Bishop, 1980; Harbottle, 1982; Olin i Franklin, 1982; Bishop *et al.*, 1982; Bishop i Neff, 1989; Jeffrey i Bennet, 1989) amb la definició del Postulat de Provenença. Aquest es basa en unes assumpcions fonamentals que apunten a que les diferències en la composició química de dues àrees o fonts naturals diferents són majors que les diferències dins d'una àrea font. És a dir, que la variabilitat en la composició química de mostres que venen d'una mateixa font geològica serà més baixa que la variabilitat entre mostres procedents de diferents àrees geològiques (Weigand *et al.*, 1977; Bishop *et al.*, 1982, 414). L'any 1982, Harbottle dóna les primeres definicions arqueomètriques de l'origen o l'àrea font d'on prové el material, de centre productor, de provenença i del caràcter local o importat de la ceràmica. El lloc de provenença de les ceràmiques arqueològiques en estudi és l'àrea de la font natural on el ceramista es va aprovisionar de les matèries primeres necessàries per a la manufactura ceràmica. En canvi, el terme origen és molt més genèric i es refereix a l'àrea d'origen de les ceràmiques (el centre productor). Quan parlem concretament del centre productor, ens referim al taller ceràmic que ha fabricat les ceràmiques. Per contra, la procedència de la ceràmica indica el lloc on s'han trobat les ceràmiques a caracteritzar, que no té perquè ser el lloc de la seva fabricació (l'àrea de provenença), ja que les ceràmiques poden haver circulat.

Els estudis de provenença comencen amb la caracterització, mitjançant l'anàlisi química per FRX i l'anàlisi petrogràfica per làmina prima, dels individus ceràmics procedents d'un taller ceràmic o d'un centre de producció conegut. En el cas de l'anàlisi química, a partir del caràcter monogènic o poligènic de les composicions (Bieber *et al.*, 1976; Buxeda, 1999a, 1999b; Buxeda i Kilikoglou, 2003), es determinaran els grups de referència (GR), entesos com les composicions elementals característiques de la producció d'un taller (Picon, 1973: 105). En la definició dels GR es tenen en compte tant els criteris de validació com d'avaluació i es representen mitjançant la mitjana aritmètica i la desviació estàndard determinades per a cada element químic. Els criteris de validació corresponen a les característiques intrínseques i extrínseques comunes a les ceràmiques que conformen el GR (cronologia de fabricació i circulació, context arqueològic, forma, color de la pasta, estil, decoració i tipus de desgreixador). Els criteris de valoració ens permetran establir les probabilitats a priori sobre les que basar l'estudi, que seran contrastades amb la informació obtinguda per via indirecte mitjançant els criteris d'avaluació. Els GR seran utilitzats com patrons en l'assignació, a aquests grups, de materials procedents de centres consumidors i receptors, per tal d'establir possibles models comercials (Kilikoglou *et al.*, 1988; Bennet *et al.*, 1989a).

El procés analític permet identificar els diferents passos de la vida d'un individu ceràmic, tenint en consideració els aspectes de la possible variabilitat introduïda durant el procés de fabricació, ús i deposició del material ceràmic respecte la matèria primera utilitzada en la seva fabricació (Figura 3.1). En aquest sentit, Buxeda i altres (1995) proposen un model per establir la provenença de les ceràmiques, considerades cadascuna com "un individu ceràmic en l'estat com es rep en el laboratori" ($I_C = I_{ECER}$). Aquest model permet el seguiment diacrònic de cada I_{ECER} des de la seva fabricació fins a la seva recuperació en l'excavació arqueològica, seguint un diagrama de flux. L'estudi s'inicia amb la identificació de les fàbriques (F_i), enteses com la diversitat d'individus ceràmics (I_C) en un mateix taller. La diversitat de fàbriques respon a la utilització de diferents processos tecnològics de preparació de la pasta, modelatge i cocció en la seva producció (Buxeda *et al.*, 1995, 46). La distinció petrogràfica entre diferents fàbriques d'un mateix taller ceràmic es fa a través de l'estudi de la distribució, freqüència, forma, mida i composició dels diferents components que formen la matriu ceràmica ja cuita (Whitbread, 1989, 127). La caracterització de les diferents fàbriques ens permetrà identificar la pasta o pastes (P_i) ceràmiques que han donat lloc a les diferents fàbriques, degut a la possible diversificació dels processos tecnològics.

Si coneixem el centre de producció, la comparació de les composicions químiques, mineralògiques i petrogràfiques de les fàbriques ceràmiques i de les argiles locals, ens ha de permetre determinar el procés tecnològic de selecció i transformació de les matèries primeres que conformaran la pasta ceràmica. Tanmateix, la relació entre la matèria primera i el producte acabat no és sempre unívoca, ja que factors com la purificació o decantació de l'argila, l'afegiment de desgreixador i les condicions de la cocció poden provocar variacions. A més, per tal d'identificar aquestes diferències caldrà tenir en compte els processos d'alteració i/o contaminació que poden haver modificat les concentracions elementals de l'individu ceràmic durant el seu ús i la seva deposició i post-deposició (Kilokoglou *et al.*, 1988).

Si no treballem amb ceràmiques procedents d'un centre productor documentat, només podrem definir unitats de referència composicional de pasta (URCP) o patrons químics de pasta (Buxeda *et al.*, 1995). Finalment, intentarem associar les URCP a una zona (Z) de provinença, on hi ha el taller ceràmic que ha fabricat la peça ceràmica i d'on prové la matèria primera utilitzada. S'ha de tenir en compte, però, que si no treballem sobre grups de referència procedents d'una Z coneguda, l'estudi es complica. D'una banda, en un mateix centre productor poden haver funcionat diversos tallers ceràmics contemporàniament i, aquests, poden haver utilitzat matèries primeres molt similars, procedents de la mateixa àrea geològica. En aquests casos, diferenciar analíticament les

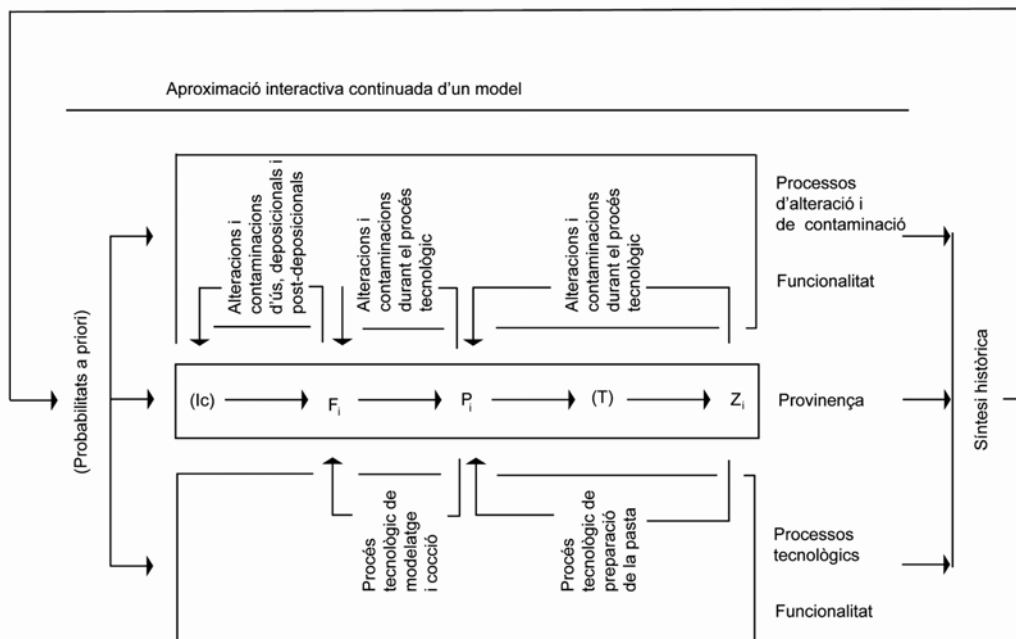


Figura 3.1. Diagrama de fluxe del procés de treball arqueomètric (Buxeda *et al.*, 1995)

matèries primeres emprades en la fabricació ceràmica per tots els tallers és molt difícil ja que tots presentaran unes característiques comunes derivades de la mateixa història geològica. Quan ens trobem en aquest cas, la zona mínima d'atribució de la provenença de les matèries primeres, preses com a referència per a la vinculació d'una producció ceràmica a una àrea de producció, és considerada una zona d'incertitud (Z_i) (Picon, 1984, 428). D'aquesta manera, una Z_i pot ser definida com una zona mínima d'atribució de provenença o espai de no resolució (Buxeda *et al.*, 1995, 49). Per tant, dins d'una zona d'incertitud podem associar una producció ceràmica a diversos tallers. D'altra banda, un mateix taller ceràmic pot venir caracteritzat per diverses produccions, resultants cadascuna de la utilització d'unes matèries primeres i d'uns processos tecnològics diferents al llarg del seu període d'activitat. A més, les matèries primeres utilitzades poden no venir directament de l'àrea d'incertitud on es situa el taller, fet que dificultaria l'atribució de la provenença a una Z_i dels materials ceràmics (Buxeda *et al.*, 1995, 50). Igualment, es pot donar el cas que diferents àrees geogràfiques de producció (àrees d'incertitud) presentin les mateixes característiques geoquímiques i, en aquest cas, ens trobaríem en una zona de conjunció (Z_c) (Picon, 1984, 431). De tot això es dedueix que en una Z_i poden haver-hi un o més tallers T, i que cada T pot haver preparat una o més d'una pasta P, i que cada pasta resultarà en una o més fàbriques F, i que cada fàbrica estarà representada per un o més d'un individu ceràmic real I_{CR} , expressant-se en la fórmula (Buxeda *et al.*, 1995, 50):

$$I_C \geq F \geq P \geq T \geq Z_i$$

Per tal de minimitzar els problemes que comporta un estudi de provenença, hauríem de treballar sobre individus procedents de centres productors ceràmics perquè, d'aquesta manera, coneixeríem la Z_i , i treballaríem en un nivell d'incertitud N_i (Picon, 1984). En canvi, si treballem amb individus procedents de centres receptors (URCP), hauríem d'afrontar el problema d'un nivell de conjunció N_c . No només no podem relacionar les ceràmiques a un taller o a una zona d'incertitud específica, sinó que no sabem localitzar-la per manca de documentació arqueològica sobre el taller ceràmic. També és possible trobar diverses zones d'incertitud amb les mateixes característiques geoquímiques, és a dir, zones de conjunció (Z_c). Per reduir aquests problemes i arribar a un nivell d'incertitud, seria necessari l'associació de URCP a GR. Malgrat tot, no sempre es pot definir la Z_i i no sempre es pot arribar al coneixement de l'origen de les matèries primeres, sinó que només s'aconsegueix identificar la producció o les produccions d'un taller (T) si treballem amb GR o a identificar la pasta o les pastes (P)

si treballem amb URCP. Si no coneixem les zones reals a que responen els I_c analitzats, s'ha d'acceptar la possibilitat d'integrar en la mateixa URCP I_c procedents de dos o més Z_i que constitueixen una Z_c . Només a partir de l'associació de patrons entre URCP i un GR passarem a un N_i (Buxeda *et al.*, 1995: 50, Buxeda *et al.*, 2001).

3.3. Caracterització tecno-funcional: Estudi de la cadena operacional de fabricació i comportament de les àmfores

3.3.1. Processos tecnològics de la fabricació amforal

Els estudis sobre els processos tecnològics de la fabricació ceràmica s'han centrat en l'anàlisi d'aspectes relacionats amb la selecció d'unes matèries primeres, d'unes eines i equipaments i d'unes tècniques de manufactura determinades per part del ceramista en el procés de manufactura. La majoria d'aquests estudis aborden el tema de la variabilitat tecnològica al llarg de la cadena operacional del procés de fabricació ceràmica. Les vessants des de les quals ha estat tractat el tema de la transformació tecnològica han anat evolucionant, des del naixement de la *New Archaeology* als anys 1960 fins l'actualitat (Loney, 2000).

Durant els anys 1970 i 1980, es va profunditzar en la metodologia ecològica, enfocada en l'anàlisi dels processos de producció ceràmica i del canvi tecnològic (ecologia ceràmica). Aquests processos s'entenen com el producte d'una activitat econòmica, limitada per les possibilitats que ofereix l'entorn natural respecte a l'aprovisionament de recursos, comunicacions, etc. (Matson, 1965). D'altres, combinen la metodologia ecològica amb un paradigma teòric post-processual que conferia a la tecnologia un significat més cultural que no pas paleo-ambiental (Van der Leeuw, 1984; Livingstone, 2000). Així, s'entenia que l'ús d'uns materials i d'unes tècniques era més aviat el reflex dels processos o normes culturals de les societats productores i el canvi tecnològic responia a l'evolució cultural (O'Brien *et al.*, 1994). La importància del context social es va incorporar des de l'anàlisi antropològica de la tecnologia, des d'on s'incidia en la importància del coneixement tecnològic i com els canvis es manifesten com el resultat d'estratègies socials per tal de solucionar de manera directa els seus problemes (Lemonnier, 1986). Una visió paral·lela arribava de la teoria de l'evolució biològica per explicar el canvi tecnològic, entès com el resultat

d'experimentacions tecnològiques actives per tal d'obtenir millors nivells d'eficàcia (Rye, 1976; Braun, 1983; Steponaitis, 1984). Altres han arribat a aplicar un paradigma darwinià mitjançant un model ideal per entendre la transformació dels processos tecnològics dins un canvi ceràmic persistent ja que qualsevol procés és imperfecte (Neff, 1990).

Un aspecte final que ha estat profundament abordat són les característiques funcionals òptimes de les ceràmiques, que indiquen l'adequació dels materials i de les tècniques als objectius utilitaris finals dels vasos. Tanmateix, és possible que totes aquestes interpretacions sobre l'evolució tecnològica s'hagin donat a la vegada en els períodes d'evolució i els processos de canvi de les societats del passat.

Les característiques que defineixen els diferents tipus ceràmics (composició de la pasta, morfologia, tècniques de manufactura, decoració, cocció, etc.) poden ser analitzades com a evidències de les diferents tècniques utilitzades durant la producció. Si assumim que els ceramistes coneixen les propietats de cada tipus de pasta i les conseqüències que els diferents processos de modelatge, assecat i cocció d'aquesta pasta tindran en el producte final, hem de pensar que l'objectiu principal de la producció ceràmica és que el producte manufacturat respongui a unes característiques utilitàries particulars i a uns propòsits culturals determinats. D'aquesta manera, s'assumeix que els processos tecnològics portats a terme durant la fabricació ceràmica depenen de les matèries primeres disponibles, del coneixement tecnològic, de l'habilitat del ceramista i dels compromisos adoptats per aquest en la selecció tecnològica per tal d'obtenir un producte altament apropiat, física i mecànicament, a la seva funcionalitat (Braun, 1983; Sillar i Tite, 2000; Skibo i Schiffer, 2001).

Segons les característiques de la pasta i les propietats dels seus constituents, el comportament durant els processos tecnològics de fabricació serà diferent. Per tal de mantenir una producció òptima, el ceramista hauria de preveure les possibles transformacions que patirà el material ceràmic durant els processos de fabricació i ús (Bronitsky, 1986; Rice, 1987). Per aquest motiu, la selecció i tractament de les matèries primeres que conformen la pasta ceràmica és molt important, tant pel ceramista (plasticitat, capacitat de ser moldeable, etc.) com des de la perspectiva del consumidor (durabilitat).

Els canvis en la selecció dels materials i dels processos tecnològics són entesos com l'evidència d'una contínua adaptació a les característiques funcionals i fruits d'una avaluació constant, per part del ceramista, del grau d'eficàcia de la seva producció, que

vindrà igualment influenciada per l'organització i els costos de producció. Així, podem analitzar, mitjançant l'aplicació de tècniques procedents de la ciència dels materials, les propietats de les matèries primeres utilitzades en la fabricació, així com la contribució dels diferents materials i tècniques de manufactura a l'adaptabilitat funcional dels objectes ceràmics i a la seva durabilitat en diferents dimensions físico-mecàniques.

- Les matèries primeres

Les ceràmiques estan fabricades a partir de minerals plàstics argilosos d'una mida inferior a $2\mu\text{m}$ que, barrejats amb aigua, formen la pasta ceràmica (Picon, 1973: 11; Rice, 1987). Aquests minerals són el producte del trencament i la descomposició de roques ígnies.

Segons la seva situació deposicional, les argiles són residuals o primàries quan apareixen dipositades en el lloc d'origen de la roca mare i, secundàries, quan han estat transportades i sedimentades des del lloc d'origen degut a l'efecte d'erosió, transport i deposició causats per diferents mecanismes. En argiles primàries o residuals, els materials plàstics seran fragments de la roca mare. En canvi, les argiles secundàries o sedimentàries, com a resultat del procés de deposició, poden estar formades per una gran diversitat de materials no plàstics, procedents de diverses formacions geològiques, així com materials orgànics i sals (Picon, 1973: 21).

La composició química de les argiles es basa principalment en silicats d'alumini formats per òxids de silici i alumini combinats amb altres òxids i hidròxids, tot i que també poden incorporar altres elements com ferro, sodi, potassi, magnesi, calci, etc. Des del punt de vista mineralògic, els minerals d'argila són filosilicats que presenten una microestructura en forma laminar. Entre els grups d'argila existents, caolinita, esmectita, il·lita i clorita, les argiles il·lítiques semblen ser les utilitzades en la fabricació de les àmfores (Rice, 1987: 49).

En barrejar una argila amb aigua, ja sigui fluvial o marina, aquesta esdevé plàstica, ja que l'aigua resta absorbida entre l'estructura laminar de l'argila, actuant com a lubricant, permetent el lliscament dels cristalls laminars.

Entre d'altres factors, els que més influencien la plasticitat d'una argila són la mida i forma de les partícules minerals i el grau d'interacció de l'aigua amb les superfícies d'aquestes partícules (Rice, 1987: 58). Com més fina sigui l'argila, més

plàstica serà, ja que es compondrà de més capes laminades entre les que restarà l'aigua d'absorció. La plasticitat d'una argila està també relacionada amb les tensions que es produeixen entre les molècules d'aigua i les partícules minerals, que fa que totes les partícules restin unides. Amb l'afegiment d'excessiva aigua, la tensió de la superfície es redueix i per això les argiles fines són més plàstiques que les grolleres, ja que ocupen menys superfície d'àrea i presenten una estructura menys porosa. Tanmateix, durant l'assecat o al principi de la cocció, s'elimina pràcticament aquesta aigua d'absorció, originant una contracció de la matriu ceràmica.

Les qualitats principals de l'argila són la seva plasticitat i la seva capacitat de ser moldeable, que tenen a veure amb el grau de deformació assolit per una argila sense arribar a trencar-se i amb el nivell de retenció de la forma assolida mitjançant la deformació. Tant la plasticitat com la capacitat d'una pasta per ser moldeada depenen de la forma i la mida de les partícules argiloses i de la relació elèctrica entre l'aigua i aquestes partícules (Bronitsky, 1986: 213; Rice, 1987: 61). Per tal d'aconseguir unes propietats determinades, el ceramista pot transformar la pasta argilosa durant el procés de selecció i preparació. La pasta pot ser decantada, barrejada amb altres argiles, no necessàriament procedents de la mateixa àrea geogràfica, o barrejada amb altres materials no plàstics, com desgreixadors, adicionats per a aconseguir unes propietats específiques (Steponaitis, 1984; Bronitsky, 1986; Rice, 1987). En el món anglosaxó, s'utilitza el terme *tempering* que fa referència a tot tipus de material que el ceramista ha barrejat a l'argila original per aconseguir la pasta ceràmica desitjada (Rye, 1976: 109): altres argiles, aigua salada o sal, fragments de roca o minerals, restes orgàniques de tipus vegetal o animal, petxines triturades, fragments de ceràmica esmicolats, etc. Amb l'afegiment d'un d'aquests nous constituents, el ceramista canvia les propietats de la pasta, en tot allò que fa referència a la plasticitat, la contracció i el seu comportament durant la cocció.

El tipus, la proporció, mida, forma, distribució de les partícules fines i grolleres de la pasta, són les responsables de la seva capacitat per a ser treballada, del grau de contracció i cohesió que adopta durant l'assecat i del grau de consolidació durant la cocció, afectant a les propietats físiques (color, textura) i mecàniques del producte final.

Durant l'assecat, la pasta ceràmica perd l'aigua d'absorció i la matriu es contrau i exerceix una tensió compressiva hidroestàtica sobre les inclusions, provocada per la sortida i l'evaporació de l'aigua.

- La cocció

Durant el procés de cocció es produeix l'assecat complet del vas ceràmic i per tal d'evitar fractures i deformacions, és necessari que abans de la cocció els vasos estiguin totalment secs. Les inclusions presents a l'argila i el desgreixador tenen un paper fonamental durant la cocció ja que es modifica la seva expansió i contribueixen a, la contracció i a la creació de la fase vítria de la matriu ceràmica.

Els forns utilitzats en la cocció de les àmfores tarraconenses són del tipus 1, segons la classificació de Picon (1973: 55). Tot i que existeixen múltiples variants i formes constructives, la seva estructura bàsica es divideix en 3 sectors: l'entrada a la cambra de foc, la cambra de foc, on es disposa el combustible, i la cambra de cocció, on es dipositen les peces ceràmiques. La base de la cambra de cocció presenta uns orificis, per tal de mantenir els fluxos d'aire i escalfor amb la cambra de foc. Sobre aquesta graella es dipositen els vasos ceràmics, on seran cuïts degut a l'entrada lliure de les flames a través dels orificis de la graella. Per aquest motiu, l'atmosfera de la cambra de cocció en aquests forns serà la mateixa que l'atmosfera de la cambra de foc. L'atmosfera de cocció fa referència a la presència de diversos gasos. Aquests poden estar presents en l'atmosfera (oxigen i nitrogen), o produïts per la combustió (vapor d'aigua i CO₂), o gasos sulfúrics (SO₂) procedents de la crema del combustible, o els produïts per la cocció de la pròpia ceràmica.

Els resultats de la cocció no depenen només de la temperatura i atmosferes assolides, sinó també de la rapidesa de la pujada de temperatura i del temps durant el qual es manté la temperatura màxima, just abans del refredament (Picon, 1973: 57). Tots aquests aspectes afecten a les propietats físiques i mecàniques del producte final però no tots poden ser determinats per mitjà de tècniques analítiques (Picon, 1973; Tite i Maniatis, 1975; Maggetti, 1981; Dufournier, 1982; Heimann, 1982, 1989; Béarat *et al.*, 1989).

La temperatura de cocció pot estimar-se mitjançant experiments de recocció de ceràmiques arqueològiques d'un grup de referència. L'anàlisi per Difracció de Raigs permetrà avaluar els canvis mineralògics que pateix la pasta a cada rang de temperatura.

Els estudis portats a terme fins el moment indiquen que els canvis comencen a baixa temperatura, i comporten, al voltant de 110°C, l'eliminació completa de l'aigua d'absorció que es volatilitza en forma de gasos, juntament amb altres materials orgànics, provocant contracció i pèrdua de volum de la peça. L'oxidació del carbonat comença a

200°C, moment en què els carbonats s'oxigenen o cremen com a CO₂ i CO, tot i que no seran totalment eliminats fins els 600°C. A partir dels 500-600°C s'eliminen les molècules d'aigua presents en l'estructura molecular dels minerals que formen l'argila (aigua de constitució), que comportarà una nova contracció (Rice, 1987). A més, es produeixen canvis en la microestructura i en la composició mineral, portant a la formació de fases característiques d'alta temperatura. A partir dels 900-1000°C els minerals ja han perdut tota l'aigua de constitució i els minerals d'argila es descomposen i es formen nous silicats. A altes temperatures, es produeix una transformació de l'estat de sinterització, augmenta la contracció i es formen nous minerals en la fase líquida de la matriu vitrificada.

La microestructura fa referència a l'organització dels constituents en un material, que serà visible amb l'ajut d'un Microscopi Electrònic de Rastreig (MER). La definició de la microestructura ceràmica es basa en la composició, estructura, textura i superfície característiques de la matriu ceràmica i comporta la definició dels components cristal·lins, de la fase vítria o amorfa i de la porositat.

La textura té a veure amb la morfologia, configuració, la mida i la distribució dels cristalls, del material amorf i de la macro i micro-porositat.

La fase es refereix a la condició homogènia i limitada d'un material, que pot ser separada mecànicament d'altres porcions del material (Bronitsky, 1986: 223). Les fases minerals són molt importants per entendre el comportament de les ceràmiques durant el procés de cocció. Les fases cristal·lines presents en una ceràmica poden ser primàries, de cocció i/o secundàries. Les fases minerals que es troben a la pasta ceràmica abans de la cocció són les primàries. Les fases cristal·lines de cocció són els minerals que es formen a la matriu durant el procés de cocció degut a les transformacions ocasionades per la temperatura, l'atmosfera i el temps de cocció. Finalment, les fases cristal·lines secundàries són degudes a la formació de minerals per alteració i/o contaminació de les fases precedents i es formen, generalment, durant el procés post-deposicional de les ceràmiques. La identificació d'aquestes fases permet interpretar els diferents processos de fabricació, com la selecció de les matèries primeres, la temperatura i l'atmosfera de cocció. Igualment, la seva identificació és necessària per entendre possibles processos d'alteració i contaminació durant el període de deposició. La Difracció de Raigs X (DRX) permet identificar les fases cristal·lines presents a la ceràmica i diferenciar les de caràcter primari, de cocció i secundari. D'aquesta manera, es pot estimar la composició mineralògica, la temperatura de cocció i alguns dels processos secundaris d'alteració

Les composicions cristal·logràfiques i el comportament dels constituents, en condicions d'equilibri químic, es representen en diagrames de fase.

L'anàlisi mitjançant Microscòpia Òptica (MO) per làmina prima del tipus, mida i forma dels constituents que formen la pasta ens permet deduir, en alguns casos, l'àrea geològica d'origen de la producció. També ens aproxima als diferents processos tecnològics realitzats durant el procés de manufactura de les ceràmiques.

Des de l'etnografia, s'han portat a terme molts estudis amb la finalitat de caracteritzar les pastes ceràmiques i intentar identificar per què el ceramista ha utilitzat unes matèries primeres i uns processos tecnològics determinats. En el cas de contenidors d'emmagatzematge i transport per a líquids, diversos investigadors analitzen des del punt de vista arqueològic (Sherriff *et al.*, 2002) o etnogràfic (Rye, 1976) els avantatges i inconvenients que proporciona l'afegiment d'aigua salada en diferents tipus de pastes ceràmiques. L'ús d'una o altra condicionarà la resta de processos tecnològics (selecció de l'argila, forma del vas, assecat i cocció) i aportarà unes propietats determinades al producte manufacturat.

L'anàlisi arqueomètrica d'àmfores púniques retrobades a Corint permet a Maniatis i d'altres assegurar que l'afegiment de desgreixador incrementa la seva resistència i durabilitat i com el tipus de matèria i el procés tecnològic de cocció afecta a les característiques físiques (color, textura, porositat, etc.) i mecàniques (resistència i durabilitat) d'aquests contenidors (Maniatis *et al.*, 1984).

Gràcies a nombrosos treballs anteriors centrats en l'anàlisi de la tecnologia, podem arribar a predir les propietats de diversos tipus de pastes (Rye, 1976; Bronitsky, 1986; Rice, 1987).

Les pastes molt plàstiques de partícules fines són fàcilment moldeables, però presenten un alt grau de contracció durant l'assecat que pot produir petites esquerdes i fractures en la matriu ceràmica. A més, el temps necessari per a l'assecat és major i desigual, ja que l'aigua de la superfície s'evapora abans que l'aigua de l'interior de la matriu i, d'aquesta manera, la contracció començarà abans a la superfície, originant tensions que poden portar a l'aparició de fractures o al trencament. Un cop assecada, la pasta esdevé un material dur, amb una estructura rígida i més fràgil. Durant el procés de cocció, les pastes fines són menys resistents als canvis sobtats de temperatura i requereixen processos de cocció específics.

En canvi, les pastes més grolleres presenten més dificultats per ser moldeades durant l'amassat, perquè tendeixen a perdre l'aigua ràpidament i, consegüentment,

perden la seva plasticitat. A més, durant el procés de modelatge tendeixen a trencar-se amb més facilitat perquè tenen una estructura més oberta i menys porosa que les argiles de fracció fina. Tanmateix, s'assequen més ràpidament, i l'evaporació s'inicia de l'interior a l'exterior de la matriu, que fa que es produeixi una contracció menor i, per aquest motiu, estan menys subjectes a l'aparició d'esquerdes. A més, els canvis provocats durant la cocció afecten menys a la microestructura ceràmica i, excepte en el cas de sobrecoccions, la cocció tendeix a millorar les seves propietats mecàniques.

L'ús d'una o altra tecnologia de producció per part del ceramista anirà molt relacionat amb les propietats finals desitjades per al producte manufacturat que han d'estar fortament influenciades per les característiques funcionals de les ceràmiques.

3.3.2. Les implicacions tecno-funcionals de la producció amforal

Per tal d'avaluar la contribució dels processos tecnològics a les propietats funcionals dels materials ceràmics, aquests s'han d'entendre com a configuracions normals, que en el cas de les àmfores es tracta de contenidors ceràmics (Buxeda *et al.*, en premsa). Així, s'entén que les característiques i les propietats d'aquests contenidors han de respondre a unes expectatives normals per part dels productors i dels utilitzadors de la tecnologia i del producte. Aquestes expectatives normals s'han de basar en un o diversos principis operacionals, en els quals l'envàs ha de demostrar que aconsegueix l'objectiu i propòsits per als quals ha estat creat i com s'adapta als objectius que acompanyen al canvi tecnològic. Per això és necessari avaluar conjuntament el context econòmic i social que condiciona i permet els canvis tecnològics i observar el paper de la ceràmica com a indicador social (Kingery, 2001).

La funcionalitat de les ceràmiques s'ha d'entendre, doncs, com una característica inherent dels seus productors i utilitzadors. En aquest sentit, Rice (1990b) diferencia entre la funció i l'ús. La funció es refereix a la capacitat del material per assolir amb èxit una sèrie d'expectatives relacionades amb el seu paper en el sistema cultural. En el nostre cas, la funció de l'àmfora seria servir de contenidor. En canvi, l'ús fa referència a la forma com el material ceràmic ha estat utilitzat per a un objectiu determinat. En el cas de les nostres àmfores, estarien destinades, principalment, al transport de vi a llargues i curtes distàncies i utilitzant diversos mecanismes de transport. La resistència als

impactes durant el transport i maneig ve condicionada per la forma i mida dels envasos, així com per les característiques de la pasta ceràmica. D'aquesta manera, entenem que la relació entre les propietats del material, el disseny i les característiques funcionals és unívoca, ja que els objectius i propòsits principals han de ser reduir al màxim la seva fractura i la conseqüent pèrdua del contingut. A més, com que estan destinades a emmagatzemar líquids, les àmfores han de mostrar un grau de permeabilitat idoni.

Cada una d'aquestes propietats ve determinada pels materials i tècniques utilitzats en la fabricació (cadena operacional) i, tot i que amb certs límits, aquests poden ser modificats pel ceramista per tal de modificar el comportament mecànic de les ceràmiques, mitjançant la manipulació de les matèries primeres, dels processos tecnològics i els canvis del disseny (Braun, 1983; Bronitsky, 1986 Rye, 1981; O'Brien *et al.*, 1994; Kingery, 2001; Skibo i Schiffer, 2001).

Des de la corrent evolucionista, s'ha prestat especial atenció al canvi tecnològic i a com aquest es presenta estretament relacionat amb les funcions utilitàries i simbòliques dels artefactes. A més de tenir en consideració els aspectes relacionats amb la cadena operacional de producció, s'interessa per la història completa de l'artefacte (cadena de comportament), incidint en les capacitats d'interacció en cada activitat que ha de desempenyar una ceràmica al llarg de la seva història (Figura 3.2). Assumeixen que els ceramistes estableixen un compromís durant les diferents etapes del procés



Figura 3.2. Conjunts d'activitats que contribueixen a la producció i a l'ús de la tecnologia (basat en Kingery, 2001)

productiu i que les variacions de les característiques i de les propietats físiques i mecàniques del diferents tipus amforals indiquen una variació dels factors que condicionen el compromís tecno-funcional del ceramista amb la seva producció (Braun, 1983; Steponaitis, 1984; Kingery, 2001; Shiffer, 2001; Skibo i Schiffer, 2001; Tite *et al.*, 2001).

Per tal de reconstruir el procés de producció, s'ha d'analitzar cada pas de la cadena operacional, és a dir, la sèrie d'operacions tecnològiques que transformen la matèria primera seleccionada en l'objecte ceràmic manufacturat.

La caracterització de les ceràmiques implica determinar amb quins materials han estat fabricades, quina ha estat l'estructura ideada (forma, dimensions, geometria, composició, etc.), quines són les propietats dels constituents i de l'objecte final manufacturat i amb quins objectius i propòsits ha estat fabricat. En aquest procés, denominat cadena de comportament, es poden separar quatre etapes diferents (Tite, 1999; Kingery, 2001; Schiffer i Skibo, 1987, 1997; Skibo i Schiffer, 2001; Schiffer *et al.*, 2001):

1. Procés d'aprovisionament de les matèries primeres.
2. Procés de manufactura.
3. Procés d'ús i manteniment
4. Rebuig

Durant el procés de producció, el ceramista ha de fer front a una sèrie d'eleccions tecnològiques que són co-depenents, ja que segons el tipus de pasta ceràmica, el ceramista escollirà una o altra tècnica de modelatge, d'assecat i de cocció. Així, si aconseguim identificar les diverses etapes del procés de manufactura ceràmica i de la cadena de comportament (la història de l'individu des de la seva fabricació al seu enterrament), podrem aproximar-nos als problemes que els ceramistes van haver de resoldre relacionats amb l'adaptabilitat tècnica i funcional d'aquests contenidors. Basant-nos en el marc teòric concebut per Schiffer i Skibo (1987, 1997, 2001), les característiques que condicionen la variabilitat de les àmfores en estudi són: la capacitat de la pasta per ser treballada; la capacitat de l'envàs ceràmic per assecat-se i coure's sense que es produeixi una contracció excessiva o l'aparició d'esquerdes; la resistència a l'inici de la fractura; la tenacitat al desenvolupament de la fractura; la duresa; la permeabilitat i les característiques formals i físiques adequades per a la seva funcionalitat.

Aquestes observacions, traslladades al context cultural de la producció i ús, faciliten la interpretació del procés tecnològic que ha portat a l'obtenció del producte manufacturat, del que s'espera que acompleixi amb èxit els objectius i compromisos per al qual ha estat creat (Van der Leeuw, 1984; Sillar i Tite, 2000). La identificació dels processos tecnològics ens ha de permetre comprendre perquè els ceramistes han utilitzat uns materials i unes tècniques específiques determinades, i perquè uns vasos ceràmics han tingut més èxit que d'altres, produint-se de forma majoritària durant llargs períodes i imitant-se en altres regions (Rye, 1976: 106). Si els canvis tecnològics estan relacionats amb la transformació econòmica i social d'un sistema en general, com podria ser, en el nostre cas, les conseqüències del procés de romanització, l'anàlisi de la transformació tecnològica ens ha de permetre determinar com respon la nova tecnologia ceràmica adaptada a les necessitats requerides en el nou context (Kingery, 1984 ; Rice, 1984: 174).

Segons Peacock i Williams (1991: 51), els contenidors més eficients són aquells que el seu pes és menor al del contingut, per tal que presentin més capacitat en un pes mínim. Aquests autors mostren la capacitat d'alguns contenidors basant-se en estudis precedents. En el cas dels tipus itàlics Dressel 1 i Dressel 2-4, podem extrapolar aquestes dades per a les imitacions amforals catalanes. En aquest sentit, el volum de líquid que conté, *grosso modo*, l'àmfora Dressel 1 en relació a 1 kg d'argila cuita és de 0.88 litres/kg. En el cas de l'àmfora Dressel 2-4, es situaria entre 1.1 i 2 litres/kg, indicant una major eficiència.

Alguns estudis s'han centrat en l'avaluació de l'eficàcia dels diferents materials utilitzats en la manufactura ceràmica, així com en la contribució dels diferents materials i tècniques a la seva durabilitat (Steponaitis, 1984; Bronitsky, 1986; Bronitsky i Hamer, 1986: 94; Feathers, 1989; Kilikoglou *et al.*, 1995; Kilikoglou *et al.*, 1998; Vekinis i Kilikoglou, 1998). Seguint la metodologia ideada per aquests especialistes, en aquest treball s'han avaluat les propietats mecàniques dels diferents materials, mitjançant l'anàlisi de la resistència mecànica a l'inici de la fractura i la tenacitat a la propagació de la fractura dels diferents materials analitzats (Buxeda *et al.*, en premsa; Martínez *et al.*, en premsa).