

# DISSENY AMFORAL I CANVI TECNOLÒGIC AL VOLTANT DEL CANVI D'ERA: L'APORTACIÓ DE L'ANÀLISI D'ELEMENTS FINITS

Anàlisi d'Elements Finitos, Propietats mecàniques, Disseny, Canvi tipològic, Àmfores romanes

**Llorenç Vila Socias\*** **Anno Hein\*\*** **Vassilis Kilikoglou\*\*** **Jaume Buxeda i Garrigós\***

*Mediante el Análisis de Elementos Finitos es posible evaluar un diseño cerámico en función de su tipología y de las propiedades mecánicas del material. Su aplicación permite considerar los factores tecnológicos que puedan haber condicionado el cambio de una tipología cerámica. Este análisis se ilustra con los primeros tipos anfóricos romanos producidos en la actual Cataluña (Dressel 1, Tarraconense 1 y Pascual 1).*

Análisis de Elementos Finitos, Propiedades mecánicas, Diseño, Cambio tipológico, Ánforas romanas.

*Finite Element Analysis enables to evaluate pottery design taking into account the mechanical properties of the material as well as the shape of the vessel. Therefore technological features in diachronic studies of typological change of ancient ceramics can be assessed. The method is illustrated with the first Roman amphorae types from nowadays Catalonia (Dressel 1, Tarraconense 1 and Pascual 1).*

Finite Element Analysis, Mechanical properties, Design, Typological change, Roman amphorae.

*L'Analyse des Éléments Finies permet d'évaluer le dessin d'une céramique en fonction des propriétés mécaniques du matériel et de son typologie. Alors, les facteurs technologiques peuvent être considérés dans l'étude diachronique des changements de la typologie des céramiques. Cette méthode est illustrée avec les premiers types d'amphores romaines mises à l'actuelle Catalogne (Dressel 1, Tarraconense 1 et Pascual 1).*

Analyse des Éléments Finies, Propriétés mécaniques, Dessin, Changement typologique, Amphores romaines.

27

## INTRODUCCIÓ

Les diferències en les tipologies de les àmfores romanes han estat generalment interpretades com el resultat d'uns propòsits de caire social o ideològic. Aquest tipus d'interpretacions serien, per exemple, les que veuen en les variacions dels dissenys amforals una estratègia per part dels grups productors per fer reconeixibles els diferents productes que envasarien (Peacock/Williams 1986; Comas 1998; Sillar/Tite 2000). 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 han 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 treball centrem la nostra atenció en la funcionalitat tècnica d'una àmfora, és a dir, en el seu rendiment com a envàs de transport. Ens preguntem si els canvis en la tipologia de les primeres àmfores romanes produïdes a Catalunya poden respondre a propòsits de tipus tècnic, és a dir, a la recerca d'una millor adequació a les seves condicions d'ús. I suposem que l'avaluació d'aquest extrem ens aporta informació indirecta sobre els propòsits socials o ideològics.

Les diferents propietats que han de satisfer les ceràmiques des del punt de vista tècnic o funcional es poden

\* Cultura Material i Arqueometria UB (ARQ/UB), Dept. de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia, Facultat de Geografia i Història, Universitat de Barcelona, C/ Montalegre nº 6-8, 08001, Barcelona (Spain), Telf. 93 403 75 54 (lvila@catalonia.net, jbuxeda@ub.edu)

\*\* Laboratory of Archaeometry, Institute of Materials Science, National Center of Scientific Research 'Demokritos', Aghia Paraskevi, 15310, Athens (Greece) (hein@ims.demokritos.gr, kilikog@ims.demokritos.gr)

aconseguir a través de la modificació de la pasta argilosa i amb l'ús d'una tecnologia de cocció adient (Steponaitis 1984; Bronitsky/Hamer 1986; Schiffer/Skibo 1987; Hoard *et alii* 1995). 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 aquesta adequació a la funció. La mida, el gruix de les parets i la forma de la peça ceràmica, especialment els seus angles i curvatures, són variables que també influeixen en 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. Dit en altres paraules, amb la mateixa pasta, unes tipologies podrien adequar-se millor a la seva funcionalitat que d'altres.

L'anàlisi d'elements finits (AEF) permet 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 (Kilikoglou/Vekinis 2002). És a dir, mitjançant l'AEF és possible simular el comportament d'una àmfora durant la seva utilització, trobant les condicions que provocarien el seu trencament. Com explicarem més endavant, l'aplicació d'aquest mètode requereix d'una representació gràfica del disseny ceràmic, així com de les propietats mecàniques bàsiques del material en estudi (Martínez *et alii* 2007). 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.

En aquest treball presentarem els principis bàsics d'aquest mètode i l'il·lustrarem amb les primeres produccions amforals romanes de Catalunya: Dressel 1, Tarracense 1 (també anomenada Laietana 1) i Pascual 1. Aquests tres dissenys seran sotmesos a diferents forces que reproduïxen les que podrien haver patit durant el seu transport marítim i terrestre. D'aquesta manera es podrà valorar si el comportament dels tres dissenys és similar o si, per contra, algun s'adequa millor a la seva funció tècnica.

## EL ROL DE LA TIPOLOGIA EN EL COMPORTAMENT TÈCNIC

Si diem que les àmfores romanes no varen passar cap control de qualitat abans de sortir del taller i entrar en els circuits comercials no aportarem gaire cosa nova a l'arqueologia. I és cert, al menys, si entenem el control de qualitat en el sentit contemporani del terme. El que sí sembla clar és que les ceràmiques, especialment les anomenades utilitàries o funcionals, degueren de

comptar amb unes característiques tècniques per assolir les expectatives que d'elles tenien tant els grups productors com els consumidors (Kingery 2001). I sembla clar, que no només s'observava que uns determinats materials i dissenys assolien aquestes expectatives, sinó que també es deuria comptar amb una avaluació empírica, a través de l'experiència, que no tots les assolien de la mateixa manera, sinó que alguns les assolien millor que d'altres. Imaginem, per exemple, el cas d'una ceràmica de cuina. Simplificant molt les coses podem dir que el seu bon rendiment tècnic depèn, en gran mesura, de la capacitat per suportar el xoc tèrmic quan està en contacte amb el foc. L'èxit d'una ceràmica de cuina que es trenqués al primer contacte amb una flama de foc seria, evidentment, molt limitat. En el cas d'una àmfora, el bon rendiment tècnic depèn de la seva capacitat per superar satisfactoriament el conjunt de forces que rep al llarg del seu ús com a envàs de transport. Aquesta adequació tampoc degué passar inadvertida pels ceramistes, ja que la fallida d'una àmfora significaria la pèrdua del seu contingut i, per tant, el fracàs de la inversió realitzada (Buxeda/Martínez/Vila en premsa). Així doncs, la qüestió que ens plantejarem, i que és la gènesi d'aquest treball, és si els diferents tipus 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 diferents 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. És precisament al llarg de tota aquesta etapa de transport quan es produïrien 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

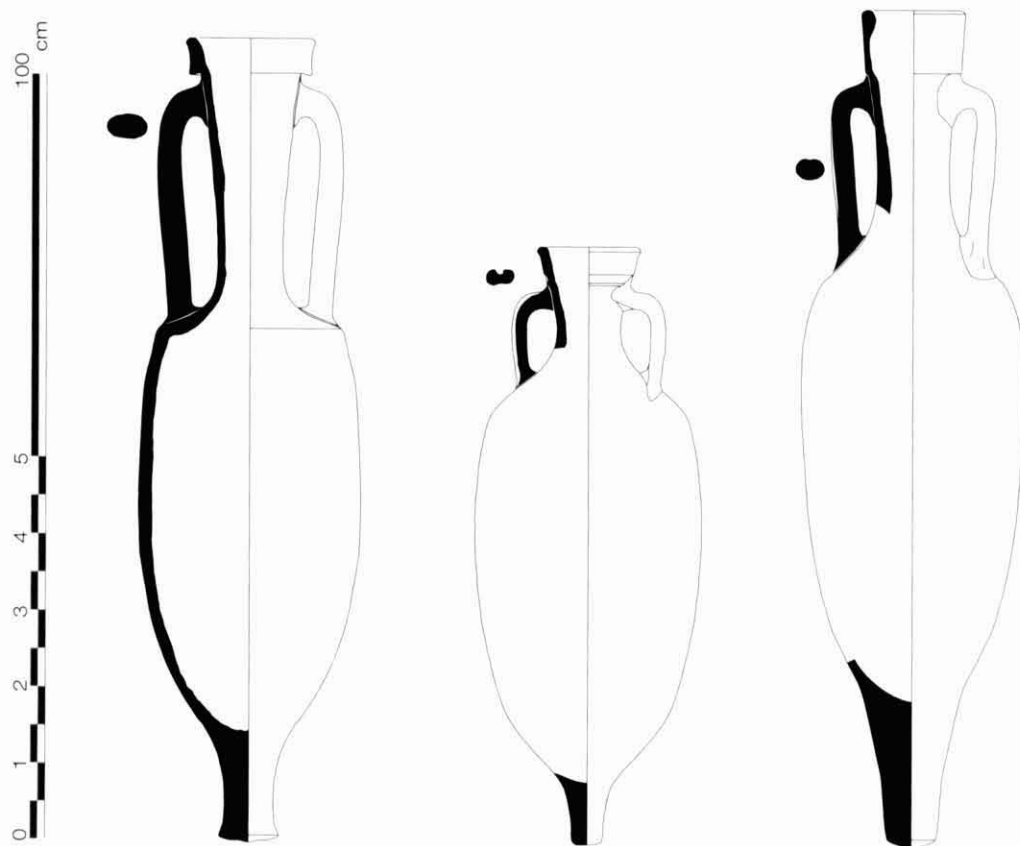
sigui diferent per a una àmfora ben cuita que per a una altra que hagi estat cuita a baixa temperatura. Així doncs, per avaluar tècnicament el disseny d'una àmfora és necessari, en primer lloc, caracteritzar el material amb què va ser fabricada. La caracterització ha de descriure la manera en què la 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 (Martínez *et alii* 2007).

Des del punt de vista mecànic, la ceràmica es considera com un material fràgil i que, per tant, es fractura amb facilitat (Kilikoglou *et alii* 1998). 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 que ara ens interessa, 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/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 µm, en el cas de les àmfors 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, o no, de la fractura. En tot cas, l'aparició de la fractura, si es produeix, no comporta necessàriament el trencament complet de la ceràmica, ja que hi ha altres paràmetres que també 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 (désgreixador 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 cocción, són paràmetres que governaran la propagació d'aquesta fractura. Segons com sigui la ceràmica, serà més o menys fàcil que la fractura que s'ha

iniciat es propagui, produint el trencament de l'envàs. 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 (Martínez *et alii* 2007).

Ara bé, les propietats mecàniques dels materials no es donen en abstracte, sinó que es concreten en una determinada forma: la tipologia de l'àmfora o, el que és el mateix, 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 si mateixa" de la fallida d'un disseny, encara que les propietats dels materials puguin ser les adients. Un exemple d'això el podem veure en les ceràmiques de cuina; la resistència al xoc tèrmic, el principal requeriment d'aquestes ceràmiques, ha demostrat ser major en les formes globulars que en aquelles on hi ha angles marcats en el punt d'unió de la base i les parets. I això s'explica perquè l'estrès generat pel xoc tèrmic queda més concentrat en les geometries angulars que no en les globulars (Tite/Kilikoglou/Vekinis 2001; Tite/Kilikoglou 2002).

Així doncs, un cop calculades, les propietats del material han de ser avaluades prenent en consideració la forma específica de l'àmfora. Aquesta avaluació pot ser realitzada mitjançant una aproximació numèrica implementada des del camp de l'enginyeria: l'Anàlisi d'Elements Finitis (AEF) (Reddy 2005). Aquest mètode permet estimar quin serà el rendiment mecànic d'un disseny quan sigui sotmès a diverses condicions d'estrès, com ara tensions, pressions o fatigues. Així, l'aplicació de l'AEF ha esdevingut una pràctica habitual en moltes disciplines. Podem trobar exemples de la seva utilització en àrees tan diverses com l'enginyeria civil (per conèixer, per exemple, els impactes de possibles vibracions sísmiques en ponts, plantes nuclears o refineries), la construcció aeronàutica (per predir el comportament del fusellatge d'un avió durant el seu ús), l'automoció (per saber com es deformarà un cotxe en cas d'accident), la bioenginyeria (per poder valorar quin serà el rendiment d'un implant) o en el disseny de productes de consum (des d'ampolles de refrescs fins a sostenidors *WonderBra*) (Madenci/Guven 2005). Què tenen en comú tots aquests objectes? Doncs que en algun moment del seu ús seran sotmesos a forces més o menys grans i que part del seu èxit rau



30

Figura 1. Models bidimensionals de les tipologies Dressel 1, Tarracense 1 i Pascual 1 (d'esquerra a dreta).

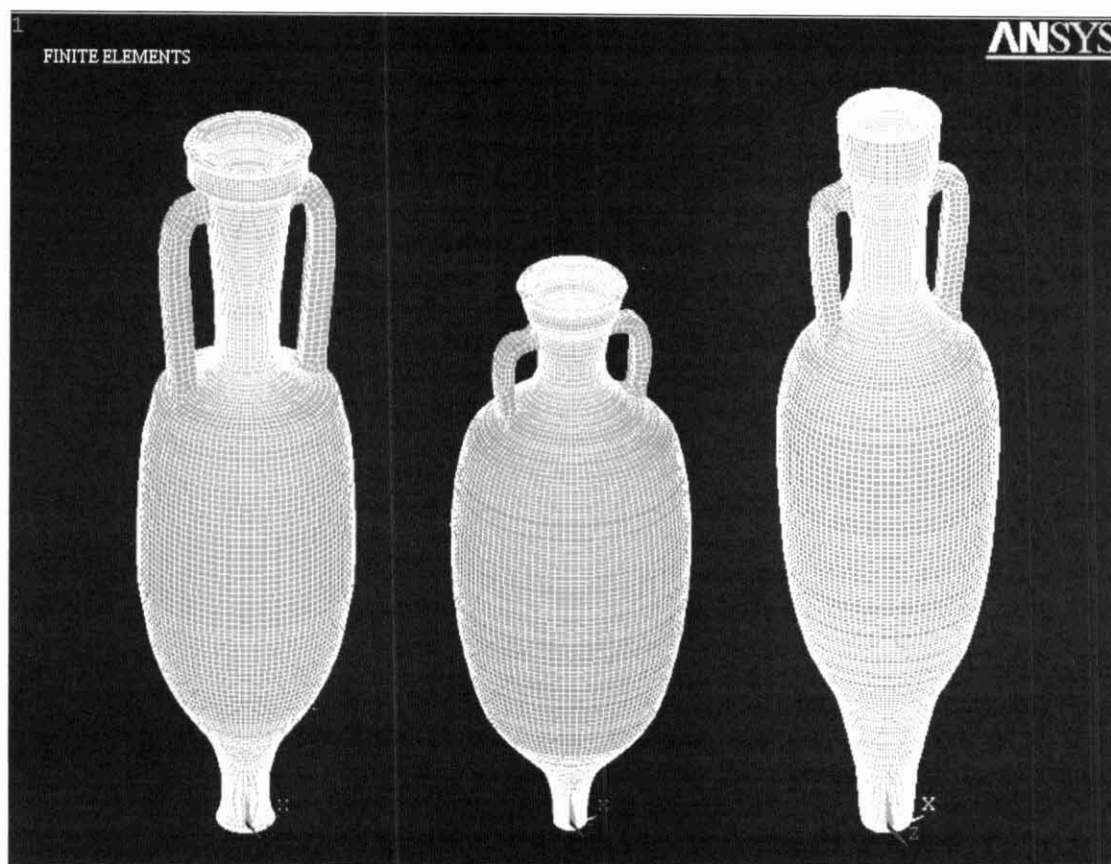


Figura 2. Models tridimensionals d'elements finits de les tipologies Dressel 1, Tarracense 1 i Pascual 1.

en superar satisfactòriament aquestes forces. L'AEF permet calcular l'estrès present en un objecte en el moment d'aplicar-li una determinada força i fa possible la predicció de la seva fallida. Per a realitzar aquesta anàlisi, és necessària una representació gràfica de l'objecte en estudi (en el nostre cas un dibuix de les àmfores en 2D) (Fig. 1), així com les propietats del material prèviament calculades (mòdul de Young, raó de Poisson, TRS) (Martínez *et alii* 2007). El principi bàsic d'aquest mètode consisteix en dividir l'objecte en estudi, o millor dit, el seu model, en unitats petites: els elements finits. Posteriorment, les propietats del material són atribuïdes a aquests elements finits i es genera un model tridimensional de l'objecte (Fig. 2). El següent pas és l'aplicació, mitjançant una simulació per ordinador, de les forces sota les quals volem avaluar el model. Finalment, l'AEF calcula la deformació elàstica del model i es compara amb el límit de deformació elàstica que hem obtingut prèviament amb el càlcul de les propietats mecàniques del material. En cas que el valor proporcionat per l'AEF sigui major al calculat sobre el material, el resultat s'ha d'interpretar com de fallida del disseny.

Les aplicacions d'aquest mètode en el camp de l'arqueologia són relativament recents (Martini 1997, 1998; Kilikoglou/Vekinis 2002; Senjanović *et alii* 2004; Hein/Kilikoglou en premsa a; Hein/Kilikoglou en premsa b; Hein/Kilikoglou en premsa c). Una de les primeres aplicacions a ceràmiques arqueològiques ha estat en l'estudi d'envasos d'emmagatzematge d'època minoica procedents de Myrtos (Creta). A partir de l'AEF s'ha pogut comprovar com el disseny de les nanses difícilment hagués suportat l'alçament d'aquests envasos un cop plens i, a partir d'aquesta constatació, s'han pogut plantejar possibles usos alternatius (Kilikoglou/Vekinis 2002). En un altre estudi d'àmfores (Hein/Kilikoglou en premsa b), l'AEF ha permès explicar el canvi tipològic que s'observa en àmfores d'època hel·lenística procedents de l'illa de Cos com una possible millora en termes de rendiment econòmic. Els canvis tipològics d'aquestes àmfores suposen un increment progressiu de la seva capacitat de transport alhora que mantenen constant tant la quantitat d'argila necessària per a la seva confecció, com les propietats tècniques dels envasos.

## DEL CANVI EN EL DISSENY AL CANVI TECNOLÒGIC

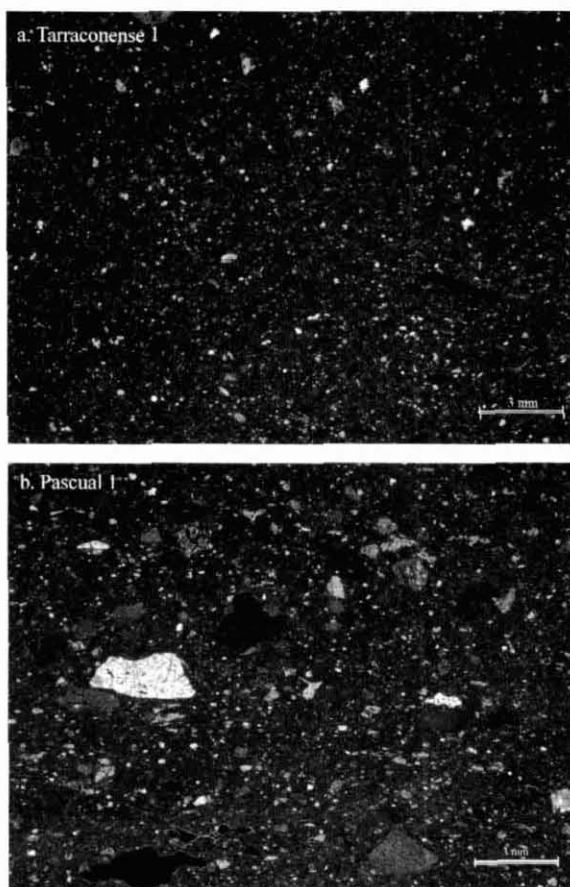
Per il·lustrar aquest mètode, presentarem els resultats preliminars obtinguts en l'estudi de les primeres produccions amforals romanes a Catalunya. Els dissenys en estudi són, concretament, els tipus Dressel 1, Tarraconense 1 i Pascual 1. Aquests tres dissenys es poden considerar cronològicament successius, malgrat que

en alguns tallers es pugui donar possiblement una producció coetània de varis tipus (Revilla 1995). En termes generals, les primeres produccions de Dressel 1 se situen al voltant del tercer quart del segle I aC fins a al darrer terç del mateix segle, moment en què començarien a aparèixer la Tarraconense 1 i, poc després, la Pascual 1. Les dades arqueològiques mostren per a aquest darrer disseny una distribució espacial i temporal clarament superior als de la resta. La Pascual 1 és el tipus amforal més freqüent en els contextos datats des d'època d'August, moment en què se deixaria de fabricar la Tarraconense 1, fins a època de Tiberi (Miró 1988; Revilla 1995; Tremoleda 2000). L'abast de la producció i distribució d'aquestes àmfores es fa palesa per l'existència de més d'una cinquantena de centres productors al llarg de la costa catalana, així com per la seva presència tant en diversos centres urbans (*Tarraco, Barcino, Baetulo, Iluro, Blandae, Emporiae*) i en altres centres receptors allunyats de l'àrea de producció (*Lattara, Burdigalia, Narbo, Lugdunum, Massalia, Pollentia, Palma*) (Comas 1985; 1998; Tchernia 1986; Miró 1988; Revilla 1995; Tremoleda 2000), com en un nombre important de derelictes (Nieto/Raurich 1998). Ens trobem, per tant, davant d'un procés diacrònic de substitució de dissenys però que, en qualsevol cas, tots tindrien la mateixa funcionalitat tècnica; servir d'envasos per al transport de vi. Com ja hem indicat, aquest darrer punt té una sèrie d'implícacions de caràcter tècnic que poden ser resumides en la necessitat de resistir les peculiaritats del transport terrestre i marítim. Però encara en té més. Si s'assumeix que el valor del comerç estaria en el vi, més que no pas en el seu contenidor, sembla lògic esperar que els costos de la seva producció es mantinguin més baixos que els del seu contingut. Desconeixem quin seria el preu de mercat del vi que seria transportat en aquestes àmfores, però no sembla que la qualitat dels vins, especialment pel que fa a l'àrea Laietana, pugui ser considerat com un valor afegit en aquests productes (Revilla 1995). D'altra banda s'ha de considerar la quantitat de personatges que participarien de la cadena de comportament de les àmfores (Buxeda/Martínez/Vila en premsa) i que haurien de treure algun tipus de profit econòmic de les transaccions que es produirien, des de la producció de l'àmfora i, evidentment, del seu contingut, fins a la seva distribució i consum final. Tots aquests condicionants fan que, des d'un punt de vista estrictament econòmic, els costos de producció d'una àmfora haurien de mantenir-se necessàriament baixos, més encara si la seva amortització s'hagués d'aconseguir, com sembla ser en la majoria dels casos, en un únic viatge. En definitiva, es tractaria d'aconseguir un compromís entre la necessitat de minimitzar la inversió necessària per a la producció d'una àmfora i obtenir un producte amb uns mínims de qualitat tècnica, capaç de suportar les severes condicions del transport.

Els estudis arqueomètrics realitzats fins a dia d'avui sobre centres productors semblen corroborar aquestes hipòtesis (veure referències dins Buxeda/Martínez/Vila en premsa). En aquests estudis, es realitzen anàlisis químiques sobre mostres procedents d'abocadors o, en alguns casos, de l'interior dels mateixos forns. Per tant, s'espera que els individus analitzats presentin baixes variabilitats químiques donat que és molt probable que pertanyin a una mateixa unitat de producció o, el que és el mateix, que hagin estat produïts amb unes pastes d'una composició molt similar. Els resultats d'aquestes anàlisis mostren, en canvi, unes variabilitats químiques molt altes per a aquestes àmfores, clarament superiors a les que presenten altres produccions ceràmiques coetànies, com ara les sigillates (Madrid 2005). L'explicació d'aquestes altes variabilitats cal buscar-la, en part, en un procés de preparació de les pastes argiloses molt poc estandarditzat. La imatge general és la d'una producció que fa servir unes pastes argiloses que varien la seva composició sense seguir uns paràmetres determinats, cosa que seria d'esperar en un intent de reduir bé els costos de producció, bé el temps necessari per a la fabricació d'un envàs (Vila/Buxeda/Tremoleda 2006).

No només això sinó que, en molts casos, s'observen canvis importants en la composició de les pastes al llarg del temps. Aquest seria el cas, per exemple, del que succeeix en el taller del Mujal o el Roser (Calella). Durant el període d'activitat d'aquest centre sembla que s'haurien fet servir, almenys, dues argiles base diferents que es correspondrien, en general, amb la producció de Tarraconense 1 i, posteriorment, amb la de Pascual 1. Aquestes diferències possiblement siguin la conseqüència d'un canvi en l'àrea d'explotació de les argileres. En aquest cas, les diferències en la composició química de les pastes no impliquen cap canvi significatiu des del punt de vista tecnològic (Vila et alii en premsa). En canvi, les diferències que s'observen en el tipus, mida i freqüència del desgreixador d'aquestes pastes (Fig. 3) sí que s'han de traduir en diferents comportaments mecànics i, per tant, en diferents rendiments com a envasos de transport (Martínez et alii 2007). Arribats a aquest punt, seria important poder valorar en quina mesura el canvi en el disseny, en aquest cas el pas de la forma Tarraconense 1 a la Pascual 1, va en paral·lel a la recerca de la millora d'aquestes propietats.

32

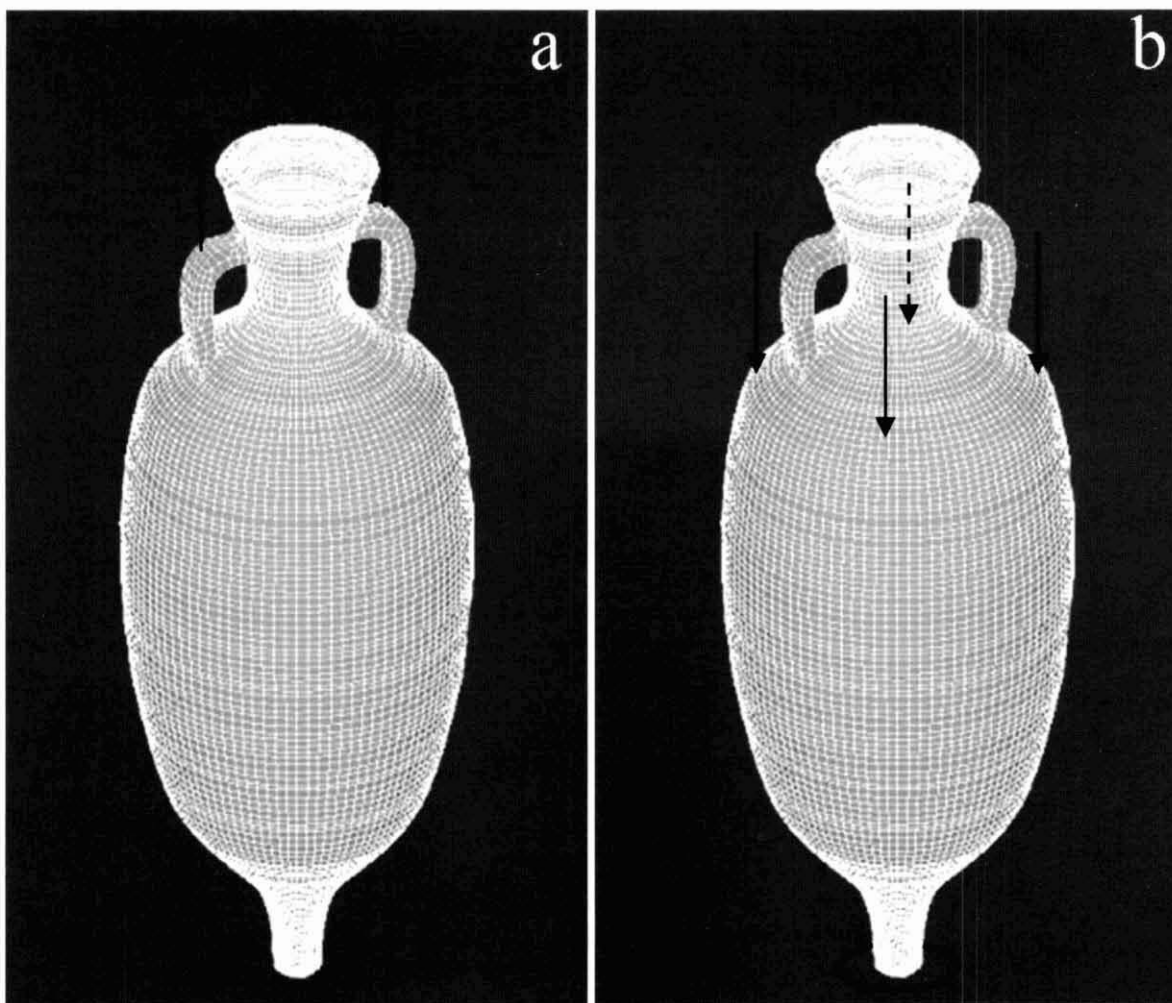


**Figura 3.** Microfotografia sobre secció polida. a) individu MUJ034, representatiu del tipus Tarraconense 1 del Mujal. b) individu MUJ007, representatiu del tipus Pascual 1 del Mujal. L'escala representa 3 mm.

## RESULTATS I DISCUSSIÓ

Com ja s'ha discutit, en aquest treball aplicarem l'AEF a les tres tipologies d'àmfora romana Dressel 1, Tarraconense 1 i Pascual 1. L'avaluació del comportament d'aquests tres dissenys, en ser sotmesos a algunes de les forces que podrien haver patit al llarg del seu ús com a envasos de transport, permetrà valorar si s'adeqüen de la mateixa manera a la seva funció o si, per contra, hi ha dissenys que responen millor a les condicions de transport simulades en aquest estudi. Per tant, no es tracta tant d'avaluar el comportament d'una àmfora concreta sinó d'avaluar el model que representa a cada una de les tipologies. Per aquesta raó, s'han atribuït les mateixes propietats mecàniques a les tres tipologies amforals. Dit en altres paraules, s'ha assumit que els tres dissenys han estat manufacturats amb els mateixos materials. Així, es podrà considerar únicament l'efecte que tenen els diferents dissenys, eliminant la influència que comporta, en la realitat, l'existència de diferents pastes.

Les propietats que es mantenen constants per a les tres tipologies són el mòdul de Young (15 GPa), la raó de Poisson (0.27) i la densitat de la ceràmica ( $2000\text{kg/m}^3$ ). Aquestes propietats es correspondrien a les d'una ceràmica produïda a partir d'una pasta calcària (CaO aprox. 10 %) barrejada amb un 20%, en volum, de desgreixador de quars d'una mida mitjana de  $250\ \mu\text{m}$ , cuïta a una temperatura de cocció equivalent de  $950\text{-}1000^\circ\text{C}$ . Aquestes característiques han estat triades degut a que són força freqüents en



**Figura 4.** Simulació de l'aplicació de forces als tres models d'àmfores. a) En cas de ser alçades per les nanses. La força correspon al pes de l'àmfora més al del seu contingut. b) En cas de ser apilades en capes amb el pivot fixat a terra. Cada fletxa correspon a l'aplicació d'una força de 1000N.

aquests tipus de produccions (Vila/Buxeda/Tremoleda 2006). El límit de deformació elàstica per a un material d'aquestes característiques és del 0.1%. Com que l'AEF calcula el límit de deformació per a cada model en funció de la força aplicada, aquells valors que estiguin per sobre d'aquest 0.1% implicaran la fallida del model sota una determinada força, és a dir, la fallida de l'àmfora a causa del seu disseny.

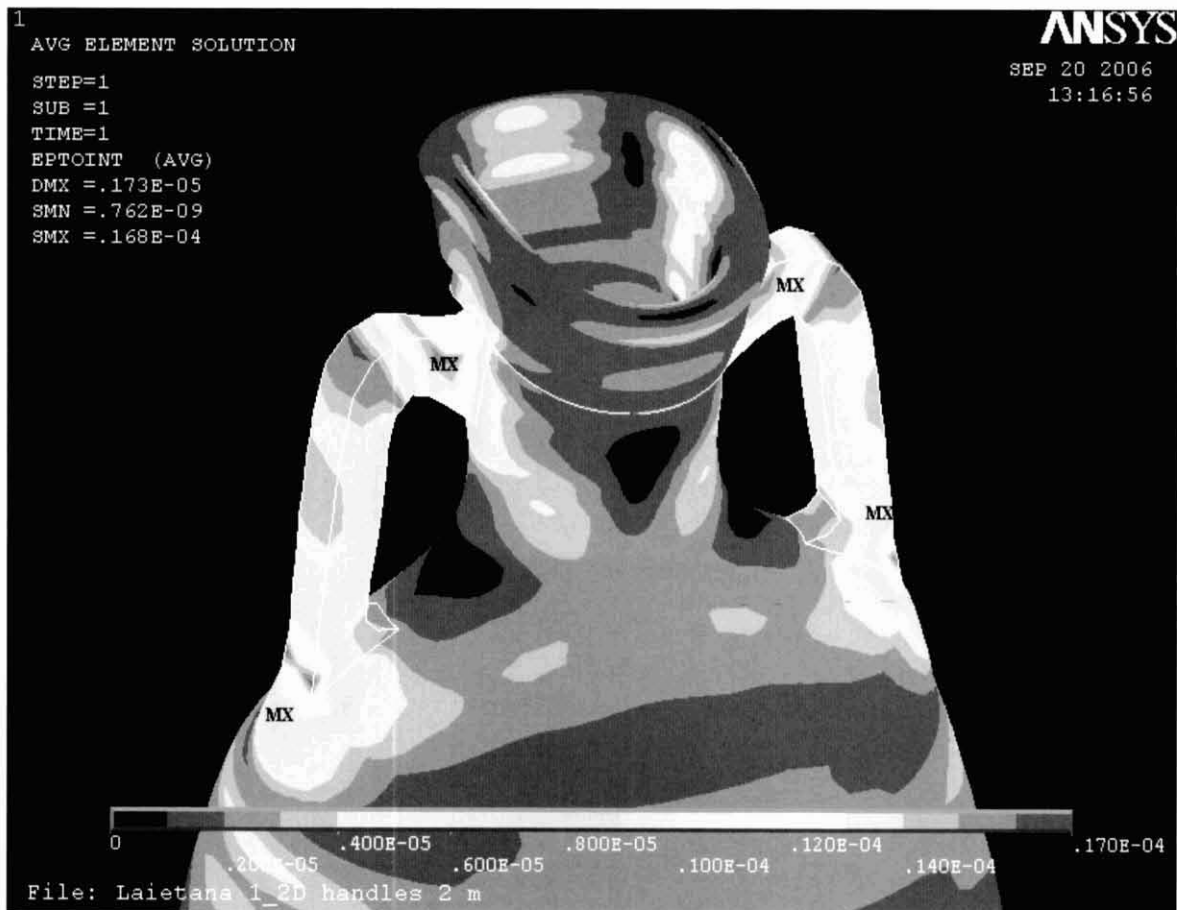
En aquest treball s'ha avaluat el comportament de les tres tipologies sota dos tipus de força (Fig. 4). El primer cas (a) correspon a la força a la que seria sotmesa l'àmfora ens ser alçada per les dues nanses. El segon cas d'estudi (b) correspon a la pressió que patiria una àmfora en cas de ser estibada formant diversos pisos. Les diferents simulacions i l'AEF han estat realitzats amb el programa ANSYS v. 7.0. En tots els casos, els càlculs s'han realitzat sobre elements finits tridimensionals (Madenci/Guven 2005). El nombre d'elements finits, el pes i la capacitat de cada model d'àmfora es presenta en la figura 5.

	Número d'elements finits	Pes (kg)	Capacitat (l)
Pascual 1	50256	25,8	25,2
Tarraconense 1	34248	12,7	25
Dressel	39672	25,7	25,1

**Figura 5.** Número d'elements finits, pes i capacitat de cada model d'àmfora.

	Àmfora buida		Àmfora plena	
	Màx. estrès (MPa) elàstica (%)	Màx. deformació	Màx. estrès (MPa) elàstica (%)	Màx. deformació
Pascual 1	0,367	0,002	0,72	0,006
Tarraconense 1	0,244	0,003	0,721	0,006
Dressel 1	0,177	0,002	0,39	0,003

**Figura 6.** Resultats de la simulació mitjançant AEF del cas (a). Màxim estrès i Màxima deformació elàstica dels tres models en ser alçats per les nanses, buits i plens d'aigua.



**Figura 7.** Exemple de la deformació del tipus Tarraconense 1 en ser alçada per les nanses. L'escala cromàtica indica les magnituds de deformació. L'àrea de màxima deformació apareix marcada amb MX.

#### AMFORES ALÇADES PER LES NANSES

En aquest cas d'estudi s'ha simulat l'alçament per les nanses dels diferents models d'àmfora (Fig. 4a). 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 i en cas d'alçar-les plenes d'aigua (Fig. 6). 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 7 es pot observar l'exemple d'aquesta simulació en el cas de la Tarraconense 1. En aquesta figura es poden observar les zones on es produïrien les majors deformacions en cas d'alçar aquesta àmfora plena d'aigua.

Com era d'esperar, l'estrès generat en aixecar les àmfores per les nanses no resulta crític en cap dels tres dissenys, ni tan sols quan els envasos són plens. En tots els casos, els valors de màxima deformació elàstica se situen clarament per sota del límit de 0.1% (Fig. 6). És important remarcar el fet que, tot i que dels tres dissenys la Dressel 1 és la que mostra el millor comportament, molt probablement, a causa de ser l'àmfora amb les nanses més allargades, aquest fet no representa cap avantatge significatiu. 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.

#### ÀMFORES APILADES EN PISOS

En aquest segon exemple es parteix del fet que el transport de les àmfores en vaixell podria suposar el seu apilament en diversos pisos o capes. En aquests casos, les màximes pressions es generarien en les espatlles de les àmfores situades en els pisos inferiors, ja que haurien de suportar la major part del pes de la càrrega. En aquest cas d'estudi s'ha simulat una força de 1000N que ha estat aplicada a cada un dels punts en els que descansarien les àmfores apilades en pisos superiors (Fig. 4b). Aquesta força correspondria al pes que exercirien vuit pisos d'àmfores plenes d'aigua. Certament, un càrrega estibada amb aquesta quantitat de



	Força aplicada (N)	Màx. estrès (MPa)	Màx. deformació elàstica (%)	Localització
Pascual 1	1000	5,66	0,048	Pivot
Tarraconense 1	1000	5,9	0,0499	Pivot
Dressel 1	1000	10,1	0,0864	Carena

**Figura 8.** Resultats de la simulació mitjançant AEF del cas (b). La força aplicada correspon en els tres casos al pes de 8 capes d'àmfores plenes d'aigua. Màxim estrès, Màxima deformació elàstica i localització de la Màxima deformació dels tres models. En negreta apareix el valor més proper al límit crític de deformació elàstica (0.1%).

capas correspondria 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/Raurich 1998). A partir d'aquestes dimensions, sembla raonable estimar un carregament estibat en dues o tres capas 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 podrien ser, probablement, similars a les simulades en aquest cas.

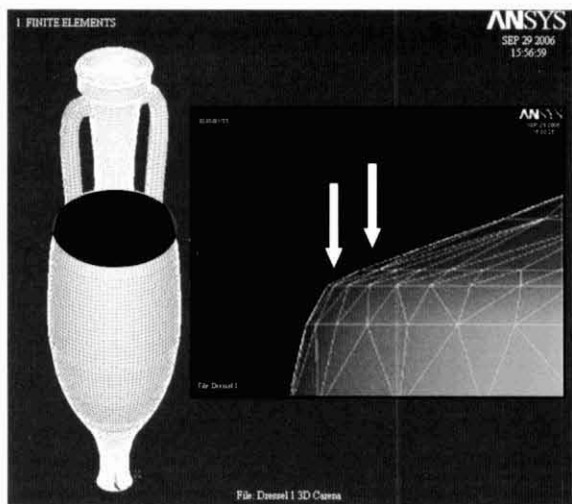
En la figura 8 es poden observar els valors corresponents al màxim estrès i a la màxima deformació elàstica dels tres models. D'aquests valors es desprenen dos aspectes molt importants per a l'avaluació de les tres tipologies. D'una banda, es pot veure que tant la Tarraconense 1 com la Pascual 1 presenten uns valors molt similars. Ambdós dissenys suportarien clarament les pressions simulades, donat que els valors de deformació elàstica se situen clarament per sota del límit teòric del 0.1%. D'altra banda, la Dressel 1 mostra uns valors que són significativament superiors als de la Tarraconense 1 i la Pascual 1. Aquest fet indica que, dels tres dissenys, la Dressel 1 és el que exhibeix la pitjor adequació a les condicions de transport simulades.

No sols això, sinó que, a més, el valor de màxima deformació elàstica d'aquest model (0.0864%) se situa en un rang crític molt proper al 0.1%, valor que indica la fallida de l'àmfora a causa del seu disseny.

Per concretar aquesta avaluació, s'ha examinat la distribució de l'estrès generat per l'apilament dels envasos en els tres models. 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. Aquest fet suportaria la interpretació que la gran variabilitat que s'observa en les vores està relacionada, possiblement, junt amb el tancament de l'àmfora, amb els aspectes socials/ideològics de l'envàs, ja que la seva variació té menys repercussió en els aspectes funcionals.

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 Figura 8. L'AEF mostra que la Tarraconense 1 i la 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 la 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 (Fig. 9). L'angle marcat d'aquesta carena és el principal responsable de la concentració de l'estrès i, per aquesta raó, de que el rendiment de la Dressel 1 sigui significativament pitjor al de la Tarraconense 1 i la 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 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 (Peacock/Williams



**Figura 9.** Localització de la màxima deformació elàstica en la Dressel 1.

1986; Comas 1998; Márquez/Molina 2005). Sembla, en definitiva, com si les diferències en el comportament tècnic dels envasos no haguessin passat inadvertides per als ceramistes o per als grups consumidors d'aquests productes que, d'alguna manera, n'impulsaren la modificació del disseny.

En qualsevol cas, és clar que un carregament de Dressel 1 estibat en capes resultaria més inestable que un carregament de 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 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. 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 quatre o cinc pisos (Gianfrotta/Pomey 1981). A partir dels resultats obtinguts un es pot arribar a preguntar 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. Amb tota seguretat, l'AEF jugaria un paper molt important en la seva dilucidació.

## CONCLUSIONS

Com esperem que hagi quedat evidenciat, l'aplicació de tècniques modernes mitjançant simulació per ordinador ens permet avaluar el disseny d'una ceràmica, o de qualsevol altre objecte, en termes de rendiment tècnic. És possible simular les condicions a les quals una ceràmica podria haver estat sotmesa durant la seva utilització i, a partir d'aquí, valorar si els canvis en la tipologia poden respondre a millors adequacions a la seva funció. Aquesta possibilitat incorpora nous elements d'anàlisi en 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.

En el cas concret de les àmfores romanes, els resultats de l'AEF suggereixen que els dissenys Tarraconense 1 i Pascual 1 respondrien millor a les condicions de transport simulades que no pas el tipus Dressel 1. La causa principal està en la presència en aquest disseny d'una carena molt marcada entre la panxa i el coll de l'àmfora que provoca la concentració de l'estrès i facilita la seva fallida. En canvi, la simulació de l'alçament de les àmfores per les nanses indica que la Dressel 1 patiria menys que els altres dos tipus. En aquest cas les diferències no es poden considerar rellevants i, en cap cas, afectarien el rendiment de l'àmfora.

Més enllà de l'aportació d'una nova tècnica a l'arqueologia, el que plantegen aquests estudis és una altra perspectiva des de la que enfocar els canvis en les tipologies. La possibilitat d'afirmar que els canvis en el disseny d'una ceràmica comporten diferències funcionals *significativament rellevants* ens obre el camí per a noves interpretacions i, potser, el que és més important, proporciona un valor afegit a les nostres interpretacions: un punt de referència contrastable a partir del qual valorar altres factors que puguin haver condicionat el canvi d'un disseny, ja siguin econòmics, socials o ideològics. No volem dir amb això que els factors de tipus tècnic tinguin, per definició, més pes que d'altres en el procés de disseny i producció, ni tan sols en el cas de ceràmiques clarament utilitàries com ho són les àmfores. Però sí que existeixen mètodes contrastables per a avaluar els factors tècnics, fet que no succeeix ni

amb els factors social, ni amb els factors ideològics. Per aquesta raó, l'avaluació tècnica d'aquestes ceràmiques ens permetrà valorar més correctament els altres elements que expliquen no sols la seva producció, sinó també el seu consum.

Creiem que el potencial de l'AEF en arqueologia està encara per explotar. Les tipologies ceràmiques proporcionen per si soles un camp ingent per a la seva aplicació i, un cop vists els resultats preliminars, creiem fermament que aquesta tècnica pot i ha de tenir un impacte substancial en la manera de classificar les ceràmiques des de l'arqueologia. Actualment, l'AEF s'està implementant en altres tipologies amforals, així com en l'estudi de ceràmiques de cuina, gresols i altres tipus de ceràmiques implicades en la producció metal·lúrgica. Però els seus avantatges permeten anar més enllà. Si pesem en els objectes sobre els quals assumim diàriament unes funcionalitats de tipus tècnic tindrem un camp gairebé inabastable. Per tot això, confiem que els mètodes d'elements finits esdevinguin una pràctica habitual en arqueologia, com ja ho és en moltes altres disciplines.

## AGRAÏMENTS

Aquest treball forma part del projecte PRODIFAN (BHA2003-04589) finançat per la DGIMCT i els fons FEDER. Llorenç Vila agraeix a la DGDURSI la concessió d'una beca FI i de dues beques per a estades per a la recerca fora de Catalunya (2005BE00496 i 2006BE00387), sense les quals no hagués estat possible realitzar aquest treball. Volem agrair especialment al Dr. G. Vekinis les facilitats donades per emprar l'equipament de l'*Advanced Ceramics Laboratory NCSR "Demokritos"* (Grècia) i a A. Martín per facilitar-nos els dibuixos de les àmfores en 2D.

## BIBLIOGRAFIA

BRONITSKY, G., HAMER, R. 1986, Experiments in ceramic technology: The effects of various tempering materials on impact and thermal-shock resistance, *American Antiquity* 51, Washington, 89-101.

BUXEDA i GARRIGÓS, J., MARTÍNEZ FERRERAS, V., VILA SOCIAS, L. en premsa, Les primeres produccions d'àmfores romanes a la Tarraconense. Per una arqueometria del canvi tecnològic, de la producció i del consum, in López Mullor, A. (ed.), *Jornades d'Estudi. La producció i el comerç de les àmfores de la província Tarraconensis (Barcelona, 17-18 de novembre de 2005)*, Barcelona.

COMAS i SOLÀ, M. 1985, *Baetulo. Les àmfores*, Badalona.

COMAS i SOLÀ, M. 1998, Présence et absence des amphores léetaniennes en Gaule, *SFECAG*, Marsella, 225-233.

GIANFROTTA, P.A., POMEY, P. 1981, *Archeologia subacquea. Storia, tecnica, scoperte e relitti*, Milà.

HEIN, A., KILIKOGLU, V. en premsa a, Finite element analysis (FEA) of metallurgical ceramics: Assessment of their thermal behaviour, in Tzachili, I. (ed.), *Aegean Metallurgy in the Bronze Age (Rethymno, 19-21 de novembre de 2004)*.

HEIN, A., KILIKOGLU, V. en premsa b, Assessment of ancient vessel design with Finite Element Method (FEM), *Proceedings of the 8th European Meeting on Ancient Ceramics (Lió 26-29 d'octubre de 2005)*, Lió.

HEIN, A., KILIKOGLU, V. en premsa c, Modelling of thermal properties of ancient metallurgical ceramics, *Journal of the American Ceramic Society*, Ohio.

HOARD, R.J., O'BRIEN, M.J., KHORASGANY, M.G., GOPALARATNAM, V.S. 1995, A materials-science approach to understanding limestone-tempered pottery from Midwestern United States, *Journal of Archaeological Science* 22, Oxford, 823-832.

KILIKOGLU, V., VEKINIS, G., MANIATIS, Y., DAY, P.M. 1998, Mechanical performance of quartz-tempered ceramics: Part I, strength and toughness, *Archaeometry* 40, Oxford, 261-279.

KILIKOGLU, V., VEKINIS, G. 2002, Failure prediction and function determination of archaeological pottery by Finite Element Analysis, *Journal of Archaeological Science* 29, Oxford, 1317-1325.

KINGERY, W.D. 2001, The design process as a critical component of the anthropology of technology, in Schiffer, M.B. (ed.), *Anthropological perspectives on technology*, Albuquerque, 123-138.

MADENCI, E., GUVEN, I. 2005, *The finite element method and applications in engineering using Ansys*, Nova York.

MADRID i FERNÁNDEZ, M. 2005, *Estudi arqueològic i caracterització arqueomètrica de la terra sigillata de la ciutat de Baetulo (Badalona)*, TDX-0105106-091209, Barcelona.

MÁRQUEZ VILLORA, J.C., MOLINA VIDAL, J. 2005, *Del Hiberns a Cartago Nova. Comercio de alimentos y epigrafía anfórica grecolatina*, Barcelona.

MARTÍNEZ FERRERAS, V. TSANTINI, E., VILA SOCIAS, L., JIMÉNEZ PIQUÉ, E., KILIKOGLU, V. 2007, Transport i emmagatzematge de les àmfores en l'Antiguitat: L'aportació de les ciències dels materials, *Empúries* 55, 39-51.

MARTINI, K. 1997, Ancient structures and modern analysis: Investigating damage and reconstruction at Pompeii, *Proceedings of the Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture (Cincinnati, 3-5 d'octubre de 1997)*, Cincinnati, 283-292.

MARTINI, K. 1998, Finite element studies in the two-way out-of-plane failure of unreinforced masonry, *Proceedings of the 6th National Conference on Earthquake Engineering (Seattle, 31 de maig-4 de juny de 1998)*, descarregat des de <http://arch.virginia.edu/~km6e/Papers/6-NCEE.pdf> el 28 de setembre de 2006.

- MIRÓ, J. 1988, *La producción de ánforas romanas en Catalunya. Un estudio sobre el comercio del vino de la Tarraconense (siglos I aC- I dC)*, Oxford.
- NIETO PRIETO, J., RAURICH SANTALÓ, X. 1998, El transport naval de vi de la Tarraconense, *El Vi a l'Antiguitat. Economia, producció i comerç al Mediterrani Occidental, Actes del II Col·loqui d'Arqueologia Romana (Badalona, 6-9 de maig de 1998)*, Badalona, 113-137.
- PEACOCK, D.P.S., WILLIAMS, D.F. 1986, *Amphorae and the Roman economy: an introduction guide*, Londres.
- REDDY, J.N. 2005, *Introduction to Finite Element Method (3<sup>rd</sup> edition)*, Texas.
- REVILLA CALVO, V. 1995, *Producción cerámica, viticultura y propiedad rural en Hispania Tarraconensis (siglos I aC-III dC)*, Barcelona.
- SCHIFFER, M.B., SKIBO, M. 1987, Theory and experiment in the study of technological change, *Current Anthropology* 28, 5, Califòrnia, 595-622.
- SENJANOVIĆ, I., RUDAN, S., INDOF, J., RADIĆ ROSSI, I. 2004, Strength analysis of the Mediterranean amphorae (an outing into the past), *Brodogradnja-Ship Building* 52, Zagreb, 149-153.
- SILLAR, B., TITE, M.S. 2000, The challenge of 'technological choices' for materials science approaches in archaeology, *Archaeometry* 42, Oxford, 2-20.
- STEPONAITIS, V. 1984, Technological studies of prehistoric pottery from Alabama: Physical properties and vessel function, in Van der Leeuw, S.E. i Pirtchard, A.C. (eds.), *The many dimensions of pottery. Ceramics in archaeology and anthropology*, Amsterdam, 79-127.
- TCHERNIA, A. 1986, *Le Vin de l'Italie Romaine. Essai d'Histoire Économique d'Après les Amphores*, Roma.
- TITE, M.S., KILIKOGLU, V. 2002, Do we understand cooking pots and is there an ideal cooking pot?, in Kilikoglou, V., Hein, A. i Maniatis, Y. (eds.), *Modern Trends in Scientific Studies on Ancient Ceramics*, Londres, 1-8.
- TITE, M.S., KILIKOGLU, V., VEKINIS, G. 2001, Review article: strength, toughness and thermal shock resistance of ancient ceramics, and their influence on technological choice, *Archaeometry* 43, Oxford, 301-324.
- TREMOLEDA i TRILLA, J. 2000, *Industria y artesanado cerámico de época romana en el nordeste de Cataluña (época augustea y altoimperial)*, Oxford.
- VILA SOCIAS, L., BUXEDA i GARRIGÓS, J., TREMOLEDA TRILLA, J. 2006, Amphores romaines du Haut-Empire: Caractérisation archéométrique de l'atelier du Collet de Sant Antoni de Calonge (Girona, Espagne), *SFECAG*, Marsella, 691-702.
- VILA SOCIAS, L., MARTÍNEZ FERRERAS, V., BUXEDA i GARRIGÓS, J., KILIKOGLU, V. en premsa, Differences in technological and functional models of contemporary amphorae production in neighbouring areas, *36<sup>th</sup> International Symposium on Archaeometry (Québec, 2-6 de maig de 2006)*.