

# LA CIÈNCIA I ELS


per Ramon Gabriel

6 (502/Volum 2/setembre 1982

ciència 19)

Com es pot extreure la màxima informació d'un d'aquests objectes que hem trobat durant l'excavació arqueològica?... Quants anys fa que va ser manufacturat?... Va ser fabricat al jaciment on l'hem trobat o va ser importat de fora?... Quines van ser les rutes comercials seguides pels nostres avantpassats?... Com podrem saber l'edat d'un os?... Com sabrem si una pintura és una falsificació?... Quines conclusions podem treure de l'anàlisi química d'una arma o d'una moneda antiga?... Què en podem dir, de la dieta alimentària dels homes del passat?...

Ramon Gabriel i Rodrigo (Barcelona, 1958) és químic especialitzat en anàlisi química. Ha estat becari a l'École Européenne de Datation et Caractérisation des Céramiques Anciennes (Bordeus, 1981) i ha participat al darrer Simposi Internacional d'Arqueometria (Bradford, març-abril, 1982) i de Termoluminescència a (Roshilde, juliol 1982).

 El títol d'un article de G. Dijkstra i J. Mosk reflecteix, en part, l'esperit d'aquest tipus de recerca: És tracta d'efectuar "l'anàlisi de l'art mitjançant l'art de l'anàlisi". En els darrers anys ha augmentat considerablement el nombre de científics i d'instituts o universitats que es dediquen a millorar els coneixements sobre el patrimoni cultural universal. A l'estranger són molts els laboratoris nous que s'han creat amb el suport d'organismes com el Consell d'Europa (amb el PACT), la UNESCO i l'ICOM (International Council of Museums), per exemple, i acreix d'aquesta manera el nombre de col·laboracions entre la ciència, l'arqueologia i la història de l'art. L'especialització és cada dia més gran i precisament per això els equips d'arqueometria són essencialment pluridisciplinaris: acullen arqueòlegs, físics, químics, matemàtics, biòlegs, geòlegs... La instrumentació que necessitem per respondre a les preguntes que hem plantejat al començament només pertany

parcialment a l'anàlisi química. Tant l'observació acurada de la forma de l'objecte com l'observació al microscopi, i el coneixement de les antigues tècniques de fabricació, o el fet de considerar les mesures físico-químiques juntament amb la història de l'art contribueixen a esborrar els interrogants existents. Seria desitjable que fos una combinació equilibrada d'observacions, mesures i dades analítiques el que ens conduís a les conclusions pertinents. Aquí, però, no insistirem més en l'important paper que tenen la tipologia i la localització geogràfica de la troballa en el procés de la seva datació i caracterització.

## LA DATACIÓ DELS OBJECTES

La datació d'un objecte és part del procés d'autenticació, com també ho és la determinació del seu lloc d'origen (allà on va ésser fabricat).

Si m'acompanyeu, farem doncs un petit repàs als mètodes de datació i ens estendrem un xic més en aquells que no vam tenir ocasió de comentar en el n.º 12 de (ciència).

L'estudi de la seqüència dels anells anuals dels troncs dels arbres que es troben en un jaciment per tal de datar-los, i així poder aplicar les dates als objectes arqueològics que els acompanyen, s'anomena *dendrocronologia*. Malgrat el pro-

blema de la gran influència del clima de la zona on van créixer, s'ha aplicat amb bons resultats per datar, per exemple, els suports dels primers quadres europeus. Hem de pensar que s'han trobat algunes sequoies i alguns pins (*Pinus aristata*) d'Àmerica del Nord encara vius, amb més de quatre mil anys d'edat! Amb aquests arbres vius i amb els que es troben enterrats en bon estat podem arribar a confeccionar una gràfica dels gruixos dels anells en funció del temps, que en alguns casos pot arribar als vuit mil anys d'antiguitat. Entre altres coses ens ajudarà a datar les cases primitives gràcies als troncs utilitzats en la seva construcció.

La *palinologia*, l'estudi dels pol·lens que durant l'excavació veuen la llum acompanyant els objectes arqueològics de fa milers d'anys, també s'ha fet servir per datar-los.

Aquestes dades, junt amb les obtingudes de l'estudi dels fragments dels carbons de bosc (*antracologia*) trobats en un nivell determinat de l'excavació, ens donen una bona informació sobre la distribució de la flora a l'àrea estudiada durant l'època en la qual van quedar enterrats. D'aquesta manera ens indiquen les possibilitats que oferia el medi ambient i la selecció que en feia l'home (carbó, fruites, restes vegetals). Per exemple, podem detectar alteracions en els boscos connectades amb l'establiment d'agricultors i pastors o la introducció de certs tipus de collita. Deixant de banda aquesta sèrie de mèto-

# OBJECTES ANTICS

*Pinus aristata* fotografiat a l'Inyo National Park de Califòrnia. Foto R. Rockwell.

(ciència 19

setembre 1982/Volum 2/503) 7



des de datació i d'estudi del *paleoambient* basats en la flora, i només citant de passada l'estudi dels insectes i els mol·luscs (els quals ens obren una "finestra" per poder "veure" els canvis de temperatura del mar en el passat), sobrevolarem els mètodes de datació físics.

L'*obsidiana* és un vidre volcànic utilitzat en el passat com a material per fabricar objectes decoratius o eines de treball. La data de la seva formació pot determinar-se mitjançant la mesura de l'espessor de la seva capa d'hidratació superficial (3 o 4 micres aproximadament) amb un microscopi òptic (500 augments). Aquesta capa d'hidratació és proporcional a l'arrel quadrada de l'edat de l'obsidiana, amb una certa dependència de les condicions climàtiques i de la composició química de l'obsidiana (paràmetre importantíssim per detectar l'*origen* d'aquesta obsidiana). Com en el cas del radiocarboni, la corba de calibració és necessari confeccionar-la per a cada zona climàtica diferent. Amb els primers resultats obtinguts el 1960, el mètode es va qualificar com a acceptable i aplicable a objectes d'obsidiana d'edats entre trenta mil anys abans de Crist i mil cinc-cents anys després de Crist.

Les tres tècniques que ara comentarem podem associar-les a una mateixa idea: l'aprofitament de l'efecte de la radiació sobre els materials per a la seva datació. La datació per les *empremtes de fissió* es basa en les "ferides" més que microscòpiques que es produeixen en una xarxa cristal·lina (d'un vidre, el desgredant de quars o feldespat d'una ceràmica, una estalagmita...) quan es fissiona espontàniament l'urani-238 acumulat en ells. Aquest mètode de datació pot aplicar-se als sòlids cristal·lins i vidres que tinguin entre vint anys i cent milions d'anys comptats des del present. En homenatge a Libby, es considera el present l'any 1950.

Aquestes empremtes es fan visibles al microscopi òptic mitjançant l'atac químic, després de polir la superfície del cristall. Seguidament, i amb molta paciència, es compten una a una! Evidentment, és un procediment molt lent. La

Quadre de les tècniques de datació més importants. Segons G.J. Hennig, en el Simposi Internacional d'Arqueometria celebrat a Bradford (abril 1982).

8 ( 504/Volum 2/setembre 1982

	<sup>14</sup> C	<sup>230</sup> Th, <sup>234</sup> U	TL	ESR	ALTRES TÈCNiques
CALCITA (i argonita)	POSSIBLE però l'activitat inicial del <sup>14</sup> C és incerta. També existeix contaminació de la mostra.	BONA sempre que existeixin pocs minerals detrítics (argila) i baixa porositat.	BONA si hi ha poca quantitat d'argiles. Hi ha dificultats amb material molt jove o vell.	BONA en general.	EMPREMtes DE FISSIÓ PROBLEMÀTICA PALEOMAGNETISME POSSIBLE
OSSOS	PROBLEMÀTICA però BONA si només agafem el col·lagen de l'os (si no hi ha problemes de contaminació).	PROBLEMÀTICA a causa de l'acumulació d'urani en els ossos.	IMPOSSIBLE a causa de la quimioluminescència.	BONA però amb problemes en el càlcul de les dosis anuals. Només obtenim 1 o 2 senyals generalment.	AMINOÀCIDS PROBLEMÀTICA a causa de la influència de la temperatura, etc. ANÀLISI F. U. N poc exacta
ALTRES MATERIALS	BONA per a fusta i per a diversos materials orgànics.	BONA per a lava, estrats submarins, etc.	BONA per a terrissa, loess, sílex, quars, obsidiana i altres materials.	POSSIBLE per a sílex, guix, zirco i altres minerals.	

concentració d'urani pot determinar-se per fissió induïda de l'U-235 irradiant la mostra amb neutrons. Com que la relació de les concentracions d'U-235 i U-238 és coneguda i constant, una comparació entre el nombre d'empremtes producte de la fissió natural i el nombre d'empremtes que resulten de la fissió induïda donarà l'edat de la mostra. Aquest mètode s'ha fet servir com a test pel mètode del potassi-argó, del qual parlarem més endavant, en la datació dels dipòsits volcànics d'Olduwai, a Tanzània (vegeu també (ciència) n.º 12).

Una altra tècnica aplicada principalment a la datació de ceràmiques és la *termoluminescència*. Es basa en l'efecte acumulatiu de la desintegració dels isòtops radioactius que són presents en molt petita concentració en l'argila de la ceràmica i en els sediments que l'envolten mentre està enterrada.

Amb aquesta tècnica també podem datar pedres de les llars de foc antigues, estalagmites, etc. (vegeu fig. 3). La ceràmica conté minerals, com el quars i el feldspat, capaços d'emmagatzemar energia "atrapant" electrons en zones on existeixin impureses o defectes de la xarxa cristal·lina. L'energia necessària per atraparlos, la proveeixen les desintegracions radioactives. Quan s'escalfa la mostra al laboratori, aquesta energia emmagatzemada s'allibera en forma de lluminositat que s'ha d'amplificar amb un tub fotomultiplicador i es registra en funció de la temperatura d'escalfament. La intensitat de la lluminiscència és proporcional a l'edat.

El tercer mètode basat en l'anàlisi de defectes és la *ressonància de spin electrònic* (ESR). Aquí s'estudia l'energia electromagnètica absorbida pels electrons "atrapats", quan aquests s'alliberen. Aquesta absorció és proporcional al nombre d'electrons atrapats i per tant a l'edat del material estudiat. Precisament en el darrer Congrés Francès d'Arqueometria (Sophia-Antípolis, octubre 1981), N. Yokoyama va presentar un dels primers treballs d'aplicació d'aquesta tècnica a l'arqueologia: la datació per ESR dels ossos i

de les estalagmites de la Caune d'Aragó, a Tautavel.

Per finalitzar aquesta simple enumeració dels mètodes de datació físics només citarem el *paleomagnetisme*, estudi de la direcció i la intensitat del nord magnètic, que ha anat canviant amb el temps. El paleomagnetisme és un mètode molt adequat per datar forns de terrisser, maons, teules o ceràmiques que s'hagin cuit apilades en un ordre determinat. Els cristalls magnètics de l'argila es van orientar amb el nord magnètic que existia quan es van coure aquests utensilis i, en refredar-se, la seva intensitat i direcció es van "congelar" en el seu si. Les corbes de variació del NM amb el temps encara són imprecises i, a més a més, les corbes vàlides per a una zona determinada no ho són per a una altra ben llunyana.

## EL CARBONI-14 I ALTRES MÈTODES RADIOACTIUS DE DATACIÓ

Havent recorregut ja tot el camí dels mètodes de datació físics, farem una incursió en el món dels mètodes de datació pròpiament radioactius (carboni-14, potassi-argó, sèries del plom, tori-urani, etc.) i en els mètodes de datació basats en els canvis químics produïts en la matèria al llarg de la seva història.

Parlarem primer de la datació radiocarbònica (o del carboni-14).

Pels voltants del 1950, els científics van veure succeir-se molt ràpidament el descobriment d'aquest isòtop (element químic amb el mateix nombre d'electrons i de protons però diferent nombre de neutrons i, per tant, diferent massa), la posada a punt d'un mètode experimental, la creació de nombrosos laboratoris especialitzats i, com a culminació, l'atorgament d'un premi Nobel al seu inventor, W.F. Libby, el 1960.

El principi del mètode de datació del <sup>14</sup>C (és la seva notació científica, que vol dir que un àtom d'aquest isòtop té 14 neutrons i no 12 com l'isòtop més abundant estable) és el següent: Els raigs còsmics que bombardegen l'atmosfera terrestre produeixen neutrons que interaccionen amb el nitrogen (<sup>14</sup>N) per produir l'isòtop radioactiu de carboni, <sup>14</sup>C.

El carboni-14, en forma de diòxid de carboni, entra a formar part de les plantes mitjançant el procés de fotosíntesi, i així s'introdueix també en la cadena alimentària dels animals. Aquest procés d'incorporació constant de <sup>14</sup>C continua fins que l'organisme mor. En aquest moment l'isòtop radioactiu <sup>14</sup>C comença a desintegrar-se per esdevenir <sup>14</sup>N, no radioactiu.

La vida mitjana del carboni-14 és de 5.730 ± 40 anys. És a dir, aproximadament després de 5.730 anys de la mort de l'ésser viu, la quantitat inicial de <sup>14</sup>C s'ha reduït a la meitat. Després d' 11.460 anys ha passat a ésser una quarta part de la quantitat inicial, i així successivament. Suposant que la raó entre les concentracions de <sup>12</sup>C i <sup>14</sup>C és la mateixa en els teixits i a l'atmosfera, i suposant que aquesta raó s'ha mantingut constant amb el temps (és de l'ordre de 10<sup>12</sup>: 1), mesurant la concentració actual de <sup>14</sup>C en una mostra podrem calcular la seva edat.

Un fragment de ceràmica només es podrà datar amb aquesta tècnica si el trobem enterrat al mateix nivell que algun fragment de carbó, ossos, petxines marines, fibres tèxtils, etc. Actualment, amb els detectors de desintegracions de líquid el límit superior per a la datació radiocarbònica és d'uns quaranta mil anys. Per damunt d'aquestes dates l'exactitud del mètode desapareix ràpidament.

Malgrat tot, el problema de la datació radiocarbònica segueix essent l'expressió i la interpretació de les dades. I això és degut al fet que un "any radiocarbònic" no correspon exactament a un any del calendari.

Per poder aplicar aquest mètode es van



Figurina de terracota d'estil etrusc que va ésser adquirida pel Glyptothek ny Calsberg (Copenhaguen) el 1930. Parsons va publicar una fotografia d'aquesta estatua abans d'ésser cuita! L'escultor d'aquesta falsificació va ésser Alfredo Fioravanti. La datació per termoluminiscència (metode de la predosi) dona uns cinquanta anys. Exretet d'Autenticitat in Art. de S.J. Fleming (1975).

fer algunes suposicions importants. En un principi es va pensar que la concentració de  $^{14}\text{C}$  en l'atmosfera havia estat sempre constant. Se sap, però, que la producció de  $^{14}\text{C}$  ha fluctuat probablement a causa dels canvis en tota la història del camp magnètic terrestre que poden haver afectat la quantitat de radiació còsmica que arribava a l'atmosfera terrestre. Tampoc no hem tingut en compte els canvis en l'activitat solar i les variacions climàtiques, que també hi poden haver jugat un paper important.

És força comentat pels especialistes el fet que amb el gran consum del segle passat de combustible fòssil (carbó i petroli), la proporció de radioactivitat en el carboni atmosfèric es va reduir. Per altra part, els assaigs d'armes nuclears durant la segona guerra mundial van introduir considerables quantitats de radiocarboni a l'atmosfera.

Quan van comparar-se les primeres dates radiocarbòniques amb materials datats independentment, en especial amb les mostres datades històricament com les de l'Egipte dinàstic, es van revelar certes discrepàncies, com ja anunciàvem abans. Les dates radiocarbòniques semblaven notablement més joves que les dates històriques. És la desmitificació del radiocarboni com a mètode de datació "absolut". Per exemple, mitjançant les dates radiocarbòniques calibrades s'ha suggerit que l'Edat del Bronze als Balcans precedeix en mil sis-cents anys l'Edat del Bronze a l'Egea, de manera que així es duplica el lapse de prop de vuit-cents anys proposat per les dates radiocarbòniques convencionals. Aquestes noves dates han invertit la creença tradicional que els coneixements metal·lúrgics s'estenien cap al nord des de l'Egea, i indiquen possiblement un desenvolupament independent de la metal·lúrgia en els Balcans. No obstant això, hem de dir que aquesta calibració de les dates del  $^{14}\text{C}$  encara no està universalment acceptada.

Per a mostres molt antigues es podria recórrer al mètode de datació del potassi-argó (o a d'altres sèries isotòpiques).

Un dels elements radioactius més estesos

a la natura és un dels isòtops del potassi. En efecte, el potassi-39 (cada àtom té 39 neutrons), el més corrent, posseeix dos isòtops una mica més pesants que ell, el potassi-40 i el potassi-41. Tots tres coexisteixen en nombrosos silicats com les miques negres, per exemple, i formen part de moltes roques sedimentàries. El potassi-40 el trobem fins i tot, en molt petita quantitat, en els vidres de les nostres finestres o dels objectes de casa. Aquest isòtop és radioactiu; és a dir, que la seva descomposició espontània és possible i és funció del temps. Per tant, ens podrà servir un altre cop com un cronòmetre (de vida mitjana d' $1,3 \times 10^9$  anys).

La desintegració del potassi-40 ( $^{40}\text{K}$ ) condueix a dos altres elements, el calci-40 ( $^{40}\text{Ca}$ ), gairebé en el 89% dels casos, i l'argó-40 ( $^{40}\text{Ar}$ ), en l'11% restant. De fet és el segon d'aquests productes el que ens interessarà i la seva anàlisi és la base sobre la qual descansa aquest mètode de datació. Efectivament, si coneixem la concentració de potassi en una roca (normalment es determina per *fotometria de flama*) i si podem mesurar la quantitat d'argó-40 que enclou (amb un *espectrometre de masses*), a desgrat que és una mesura difícil, podem determinar la seva edat efectuant la relació entre aquests dos elements, sempre que suposem que el segon és producte només del primer. Una de les fonts d'error en el mètode és la contaminació de la mostra per argó atmosfèric. Tot i que aquest mètode s'ha aplicat poc en arqueologia, els resultats han estat molt afortunats. A aquest mètode devem el coneixement de l'edat del que en podríem dir la humanitat, ja que amb ell es van datar els cèlebres jaciments d'homínids de l'est africà. Per sort els jaciments d'Omo, Olduvai i el llac Rodolfo es troben en una regió particularment favorable per a la utilització del  $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ : els nivells arqueològics formen part d'una sèrie de sediments en els quals hi ha diferents capes de cendres volcàniques.

S'han datat aquestes capes i s'ha determinat una edat màxima i mínima dels nivells arqueològics interposats. Les dates obtingudes amb aquest mètode poden

comprovar-se amb la datació per les emprems de fissió, que no està subjecta a les mateixes fonts de possibles errors.

Amb el  $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$  podem datar materials que estiguin entre els 800.000 anys i els 3,8 milions d'anys d'antiguitat. Com podeu veure, la zona entre els 40.000 anys, límit actual de la datació per  $^{14}\text{C}$ , i els 800.000 anys del  $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$  pateix la falta de mètodes científics de datació. Segons J. Evin és com si, per observar el passat, només tinguéssim de moment uns prismàtics de teatre (el  $^{14}\text{C}$ ) i un telescopi astronòmic (el  $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ ), i ens faltessin uns prismàtics per a les "distàncies" intermèdies.

Centrem-nos ara en els mètodes de datació basats en els canvis químics que experimenta la matèria orgànica.

Amb el  $^{14}\text{C}$  només podem datar ossos en els quals encara quedi una certa quantitat de carbó orgànic. No es pot datar, per tant, un os calcinat.

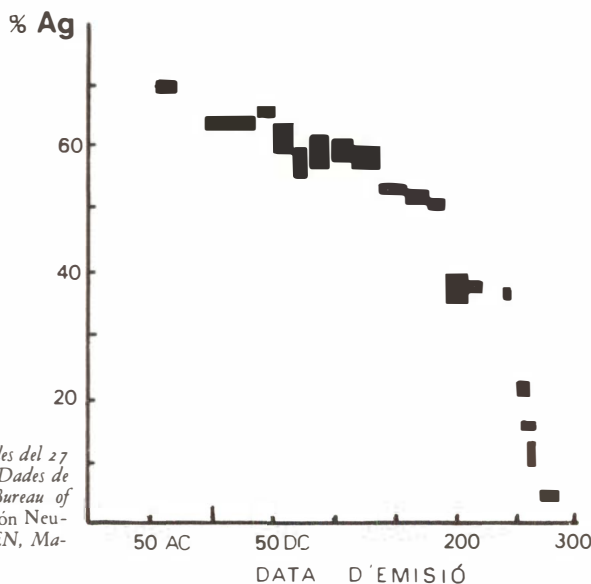
Quan el 1953 es va dubtar de l'antiguitat de la mandíbula de Piltdown (ja se sospitava que havia estat "fabricada" amb una mandíbula d'orangutan modern), hagués estat impossible datar-la amb el  $^{14}\text{C}$  perquè en aquells dies els laboratoris necessitaven almenys sis grams de carbó i, tenint en compte que aquest era aproximadament el contingut total de carbó, la prova hagués implicat la destrucció total de la mandíbula.

A causa que els ossos perden la seva proteïna (col·lagen) a un ritme molt lent, i, en iguals condicions, de manera bastant uniforme, l'edat relativa de dos ossos pot ésser determinada per comparació de la quantitat de nitrogen que encara hi ha a cada os.

Els canvis en la matèria mineral dels ossos i les dents enterrats depenen de la composició de l'aigua que els envolta. Els canvis acostumen a ésser una acumulació progressiva de fluor i urani que penetren a l'interior de l'os.

També podem datar ossos i petxines estudiant la *racemització dels aminoàcids* que es produeix en el seu interior. Quasi tots els aminoàcids presents (normalment

Contingut en argent de les monedes romanes emeses des del 27 aC fins al 300 dC en funció de la data d'emissió. Dades de l'Analytical Chemistry Division, del National Bureau of Standards, publicat al llibre Anàlisis per Activació Neutrònica, d'A. Travesi (1975). Premsa Científica JEN, Madrid.



s'analitza l'àcid aspàrtic) es racemitzen, és a dir, passen d'ésser òpticament actius a no actius en funció del temps que ha transcorregut des de la mort de l'ésser viu. Amb l'àcid aspàrtic podem disposar d'un altre "calendari" entre cinc mil i cent mil anys d'edat. No obstant això, la racemització és un procés molt afectat pels factors ambientals, tals com els canvis de temperatura. Si hi ha hagut algun canvi de temperatura durant el període d'enterrament de l'objecte, poden derivar grans errors en el mètode.

I ja que hem parlat d'ossos antics, em sembla interessant ressaltar un aspecte de la seva investigació. Es tracta de la *paleopatologia*, és a dir, l'estudi de les malalties que poden ésser observades en les restes humanes i animals del passat, des de la detecció de la tuberculosi òssia, la lepra (el cas més antic trobat és un esquelet del segle VI), lesions traumàtiques, tumors o trepanacions (que evidenciarien possibles intervencions quirúrgiques), fins a arribar a fer-nos una idea aproximada de la mitjana de vida humana a la prehistòria.

Un altre aspecte de la recerca al laboratori és l'estudi de les restes d'aliments (peix, olis, etc.) o dels excrements humans (*coprolites*) que de vegades es troben a l'excavació, amb la intenció de conèixer alguna cosa sobre les dietes alimentàries dels nostres avantpassats.

El contingut d'elements traça (elements químics presents en molt petita quantitat) d'un objecte arqueològic constitueix les seves "empremtes digitals" que l'identifiquen de manera pràcticament inconfusible. Hi ha molts mètodes moderns d'anàlisi de traces, dels quals ja vam parlar a (ciència) n.º 12. Després de descartar les tècniques destructives, és a dir, les que danyen la peça pel fet de necessitar molta mostra, retindrem (no us espanteu dels noms!) l'activació neutrònica o *protònica*, seguida d'espectroscòpia gamma, la fluorescència de raigs X, l'espectroscòpia d'emissió i l'espectroscòpia d'absorció atòmica. Potser les més emprades siguin les dues primeres tècniques, sobretot per a la localització dels llocs de fabricació de ceràmiques arqueològiques, per establir cor-

	% Fluor	% Nitrogen	Òxid d' Urani (ppm)
Os fresc . . . . .	0,03	4,0	(0)
Mandíbula de Piltdown . . . . .	<0,03	3,9	(0)
Crani Neolític, Kent. . . . .	0,3	1,9	-
Crani de Piltdown . . . . .	0,1	1,4	1
Molar de l'hipopòtam de Piltdown (mostres de dentina) . . . . .	<0,1	<0,1	3
Crani de Swanscombe . . . . .	1,7	traces	27
Molar de <i>Elephas cf. planifrons</i> de Piltdown (dentina) . . . . .	2,7	(0)	610

Dades de D. Brothwell i E. Higgs, *Ciència en arqueologia*. Mèxic, 1969.

relacions entre objectes d'obsidiana o de marbre i per a l'estudi de metalls i pigments.

La història de les falsificacions es remunta a unes quantes centúries enrera. L'apreciació romana de les escultures gregues clàssiques de pedra i de bronze va inspirar moltes imitacions, que són extremament difícils de detectar avui dia. En canvi, en alguns casos s'ha detectat l'existència d'un empobriment deliberat del contingut de metalls preciosos en les monedes antigues que revela èpoques de depressió econòmica. Per exemple, l'anàlisi de la plata en una sèrie de monedes romanes que van des de l'any 27 abans de Crist, en temps de l'emperador August, fins a l'any 275 després de Crist, sota l'imperi d'Aureli, revela l'existència d'una inflació gradual i d'un empobriment de l'imperi: el contingut en argent era cada vegada menor, fins al punt que les darreres monedes només estaven recobertes d'una petita quantitat d'aquest element químic (vegeu fig.1).

## LES OBRES PICTÒRIQUES I LA CIÈNCIA

Probablement el primer reconeixement per part dels crítics d'art del poder dels mètodes d'examinació científica en l'es-

tudi d'obres d'art es remunta a Otto Wacker. Quan el 1932 el Tribunal de Berlín va jutjar-lo com a presumpte autor de quadres que s'havien atribuït a Van Gogh, aquest tribunal va donar molta importància a les fotografies amb raigs X que il·lustraven la tècnica del veritable autor. Mentre Van Gogh aplicava els colors espessos sobre una preparació de material dur, Wacker va oblidar aquesta preparació de base i es va concentrar exclusivament en l'aspecte superficial. Aquest estudi pot semblar trivial, però hem de tenir en compte que el cas de Wacker va marcar una transició, la llum verda als moderns mètodes d'examinació. Aquest tipus d'examinació fotogràfica (fotografia amb il·luminació ultraviolada o infraroja i la radiografia) se segueix utilitzant amb bons resultats (foto 5). Darrerament s'han obtingut imatges fotogràfiques de les distribucions dels elements químics en alguns quadres mitjançant el bombardeig amb neutrons. És una tècnica anomenada *autoradiografia*.

Un mètode de datació de pintures a l'oli posat a punt per F. Preusser recorre a l'anàlisi tèrmica diferencial (que també serveix per determinar la temperatura de cocció de les ceràmiques antigues). Es mesura la diferència de temperatura entre els dos compartiments, on progressivament són escalfats 1 mg de la mostra problema i 1 mg d'un patró inert. Això ens informa de les reaccions endotèrmiques o exotèrmiques que es produeixen



Reflectograma amb llum infraroja d'un detall del plafó central del triptic *El judici final*, de Lucas Van Leyden (1489-1534). El detall mostra el cap de l'apostol sant Joan envoltat dels altres apostols, a la dreta de Crist. Part d'una cara, desplaçada justament a l'esquerra de la de sant Joan, no va ésser pintada i no es detecta amb llum blanca (5b) però es veu clarament amb llum IR (5a). Extret de l'article de G. Dijkstra i J. Mosk (1981) a *Trends in Analytical Chemistry*, Vol. 1, n.º 2.



setembre 1982/Volum 2/507 11

per detectar que el quadre *Crist i Magdalena*, atribuït a la vella escola holandesa, no era més que una hàbil falsificació dels nostres dies, a causa del baix contingut en argent i coure i l'alt contingut en zinc, probablement impossible de detectar per altres mètodes.

Lux, Braunstein i Strauss (1969) van fer un pas més enllà. Van estudiar el contingut d'elements traça d'una sèrie de mestres de l'escola holandesa, tals com Rubens, Vermeer, Janssens, etc., i d'altres grans mestres de l'escola veneciana com Ticià i Il Tintoretto. A la figura 7 podem observar que les quantitats de manganès, argent i antimoni en el blanc de plom emprat per les dues escoles són clarament diferents. El blanc de plom emprat en les regions al nord dels Alps és d'origen diferent del que es feia servir al sud dels Alps, la qual cosa permet identificar el lloc d'execució de l'obra. Segons això, i tal com ja es planteja al llibre d'A. Travesi *Análisis por Activación Neutrónica*, es pot arribar a respondre la qüestió: Aquell artista determinat, va viure a Itàlia o al nord dels Alps? Una confirmació d'aquesta possibilitat va sorgir en l'estudi de les pintures de Tiepolo, un artista que va viure a les dues regions i del qual es coneixen bé la vida i les obres. Les anàlisis per activació neutrònica dels seus quadres *L'Adoració de la Santíssima Trinitat pel papa Climent*, pintat el 1753 a Venècia, i *L'Adoració dels Reis*, pintat el 1753 a Wutzburg, mostren clarament pel seu contingut en argent i antimoni que ens trobem davant dues classes diferents de blanc de plom, cada una original de la regió on va ésser pintada l'obra.

Per altra part, per situar una pintura en una època determinada també tenim una sèrie de coneixements sobre els macroconstituents dels pigments. Per exemple, els pigments blancs d'òxid de zinc van començar a produir-se a partir del 1832 i no abans, mentre que els d'òxid de titani no es van obtenir fins al 1912. D'aquesta manera es va arribar a conèixer les àrees del quadre que han estat restaurades mitjançant una capa de pintura en la qual existeixen pigments amb altes concentra-

en el material a mesura que augmentem la temperatura. La corba ATD acostuma a exhibir un pic quan ens apropem als 400 °C i la mida d'aquest pic està relacionada amb l'edat de la pintura. Els resultats de les anàlisis fetes tenen una incertitud de  $\pm 15$  anys per a obres d'art d'uns cent anys d'antiguitat. Les pintures a l'oli també s'han datat alguna vegada mitjançant la mesura de l'índex de refracció dels olis secs, el qual canvia amb el temps. Els problemes associats a aquest mètode són, per força, les petites dimensions de la mostra i els coneixements experimentals necessaris per a la mesura del seu índex de refracció.

Tanmateix, amb l'estudi per activació neutrònica d'una petitíssima mostra de pintura poden obtenir-se resultats ben espectaculars. Un exemple n'és l'estudi dels pintors de l'Edat Mitjana. Utilitzaven el *blanc de plom* ( $2\text{PbCO}_3, \text{PbOH}$ ) o *blanquet* com un dels components principals de les pintures. Ja fos emprat com a matèria de base o com a pigment, la seva puresa està directament relacionada amb la tècnica emprada per a la seva

obtenció, la qual ha sofert profunds canvis en els darrers segles. El contingut d'impureses del pigment blanc pot ésser una indicació de l'edat de la pintura i, fins i tot, afinant més, de la localitat on va ésser pintada. Per exemple, en pintures de més de cent anys no podrà existir-hi el  $^{210}\text{Pb}$ , isòtop radioactiu del plom, ja que tot ell ha d'haver-se convertit en bismut-210. Basant-se en aquest fet es van descobrir les falsificacions de Van Meegeren que es feien passar per obres de Vermeer.

Els estudis de Houtman i Turkastra (1965) van demostrar que el contingut en traces de coure, argent, mercuri i magnesi del pigment blanc es manté relativament alt i constant abans de 1850, però a partir d'aquesta data decau bruscament a la desena part del valor inicial (Fig. 6 a). El contingut de crom presenta una davallada encara més acusada, que s'escau dos segles abans que el salt anterior, antre l'any 1600 i el 1650 (Fig. 6 b). Mentrestant, els continguts de zinc i antimoni sofreixen un augment a partir de 1950 (Fig. 6 c). Aquestes dades s'han aprofitat

Contingut d'argent (a), crom (b) i zinc (c) en el blanc de plom de pintures autèntiques, en funció de la seva data. Dades de J.P. Houtman i J. Turkastra (1965), *Radiochemical Methods of Analysis*, Vol. 1. Viena. Extret del mateix llibre que la fig. 4.

12 | 108/Volum 2/setembre 1982

cions dels compostos químics citats.

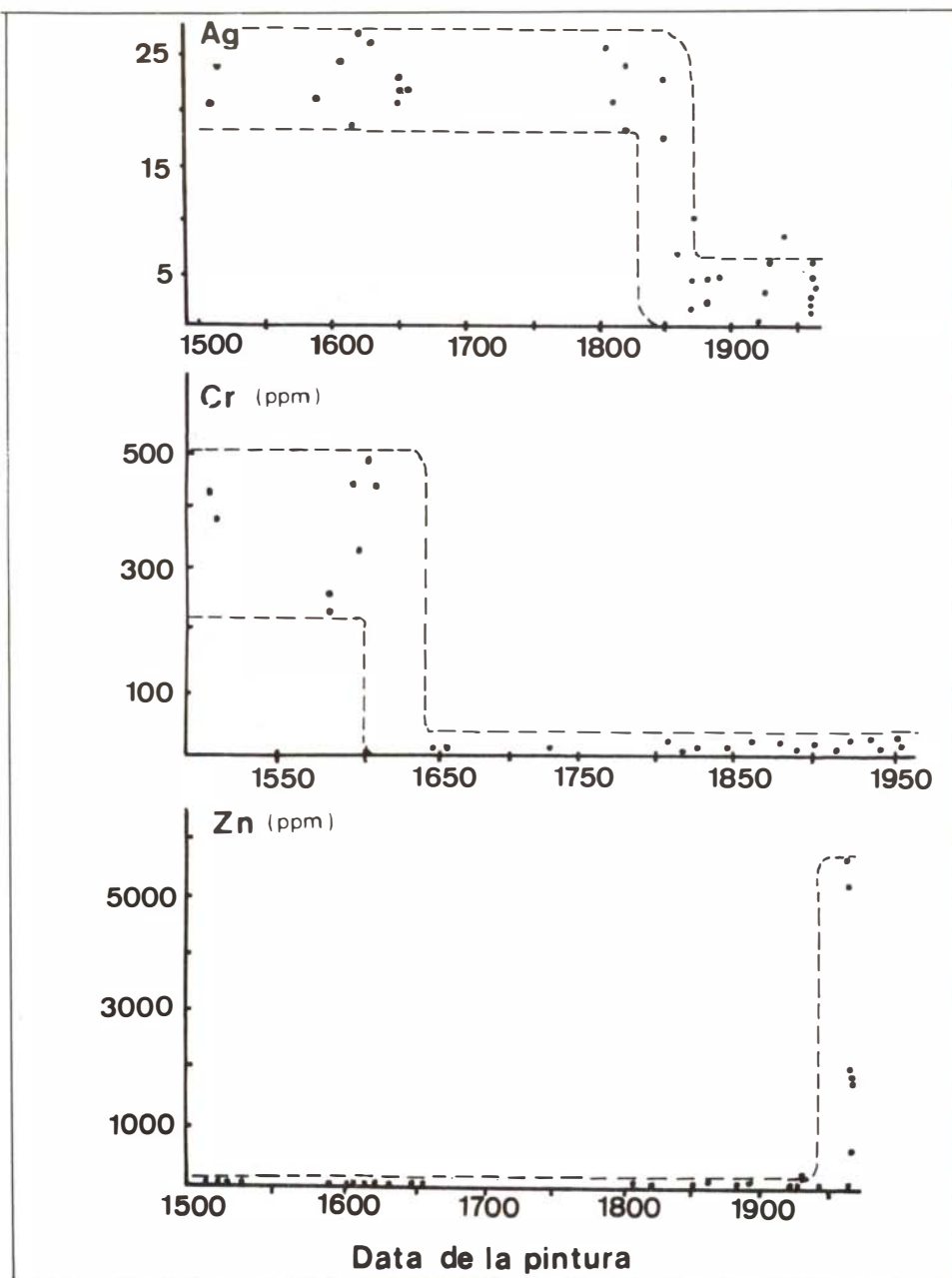
## ALGUNES REFLEXIONS...

Per finalitzar em sembla imprescindible incloure algunes reflexions sobre l'arqueologia d'en Magí Miret, un company arqueòleg, al qual haig d'agrair la seva col·laboració.

La utilització de mitjans tècnics en arqueologia ha d'anar precedida d'un plantejament conceptual previ que determini el tipus de dades inicials que cal considerar i el tractament que cal donar-los. Primerament s'ha de plantejar quin ha d'ésser el tema d'estudi i després decidir quins són els mitjans més adequats per dur a terme la investigació, però no actuar a l'inrevés. La utilització de sofisticats aparells tècnics o de complicades fórmules matemàtiques no garanteix uns resultats científics bons si no va acompanyada d'una base teòrica consistent.

El gran desenvolupament dels mitjans tècnics al servei de l'arqueologia contrasta amb la migradesa teòrica. Tot i els constants intents per elevar-la al nivell de ciència social amb l'objectiu d'estudiar les societats humanes passades i actuals i la seva evolució cultural mitjançant les seves restes materials, per desgràcia són encara evidents els seus orígens de la mà del col·leccionisme. Durant molt temps l'arqueologia ha estat assimilada a l'estudi dels objectes d'art antics. El valor artístic de les restes materials antigues, a vegades molt elevat, ha dificultat superar el valor intrínsec dels objectes i anar més enllà de la simple descripció i classificació morfològiques. És per aquest motiu que no hi ha un acord respecte al concepte "arqueologia". Al costat dels qui la consideren una ciència social, amb clars lligams amb l'antropologia cultural, coexisteix la visió tradicional que parteix del coneixement de l'evolució morfològica de les restes culturals.

Certament l'arqueologia científica està lluny del positivisme que es desprèn de l'excessiu valor atorgat als objectes en si



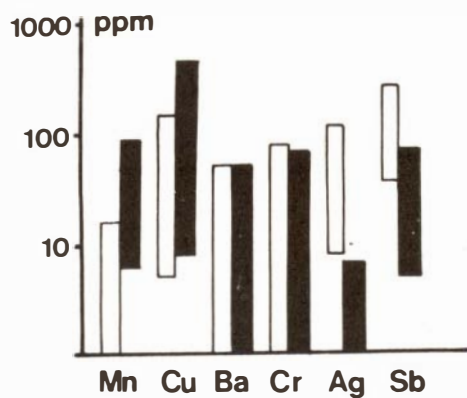
mateixos, propi d'antiquaris, però no és aquesta la imatge oferta pels mitjans de comunicació social. Entre el públic en general subsisteix la creença que l'arqueologia és un món "apassionant", relacionat sovint amb tombes subterrànies que contenen fabulosos tresors, amb peces de valor incalculable i en casos extrems fins i tot amb malediccions de faraó i records d'extraterrestres. L'interès per l'arqueologia com una aventura romàntica no ha estat substituït en l'àmbit del carrer per una concepció més científica. La culpa d'aquesta visió falsejada i trivialitzada és en bona part dels mateixos arqueòlegs per haver descuidat el contacte amb el públic i limitar-se excessivament al seu cercle professional.

L'arqueòleg té sempre el perill de buscar i explotar les troballes espectaculars a fi d'envoltar-se d'una aureòla de prestigi, que no sempre està en concordança amb la qualitat del treball realitzat ni amb els resultats científics obtinguts. És evident que els objectes d'alt valor artístic tenen un valor immediat de cara al públic. Aquestes peces han de servir per canalitzar la informació científica obtinguda del sistema cultural al qual pertanyen. El valor artístic ha d'anar agermanat amb el

valor cultural, mai presentar-se aïllat del context que li dona significació. L'afany desmesurat de posseir objectes artístics i exòtics fa que alguns museus esdevinguin estèrils cementiris culturals i que implícitament es fomenti l'aparició de col·leccions privades. El dilema no està en el binomi col·leccions públiques-col·leccions privades, sinó que el que cal és bandejar definitivament el concepte mateix de col·leccionisme de tota arqueologia que vulgui ésser científica.

Lògicament les excavacions arqueològiques han anat ajustant-se a les innovacions esdevingudes en el camp conceptual, tant en el vessant tècnic com en el d'organització del treball. La separació artificial entre arqueologia de camp i arqueologia de gabinet tendeix a disminuir, totes dues integrades com a fases complementàries dins d'un únic procés d'investigació.

Hi ha un tipus d'informació que és particular de cada objecte en concret i que no es pot deduir de l'examen de les seves característiques formals i tecnològiques. Es tracta del seu context deposicional, que ens informa d'on era (àrea domèstica, dipòsit ritual o funerari, abocador de deixalles, zona de treball, etc.) i de quina



Comparació del contingut d'impureses en el blanc de plom de pintures autèntiques de les escoles veneciana (Il Tintoretto, Ticià), en negre, i holandesa (Rubens, Vermeer, Janssens, etc.), en blanc. Dades de F. Lux i col. de la publicació especial del National Bureau of Standards n.º 312. Extret del mateix llibre que la fig. 4.

podia ésser la seva funció, que pot haver anat variant amb el temps. Per això les actuals tècniques d'excavació donen tanta importància a les relacions espacials dins del conjunt de restes materials del jaciment arqueològic, tant verticals com horitzontals.

No es cerquen sols les distintes fases d'ocupació i abandonament de l'indret, sinó que també interessa el que succeeix durant cada període i la funció de les distintes zones espacials i la seva evolució al llarg del temps. La quasi exclusiva atenció als problemes de cronologia diacrònica (estratigrafia vertical) ha donat pas a un progressiu interès també per la problemàtica sincrònica (estratigrafia horitzontal), la qual permet interpretacions "etnogràfiques", sempre que l'extensió excavada sigui prou àmplia per permetre una visió global i al mateix temps detallada del jaciment. Aquest impuls renovador ha estat fruit de les inquietuds d'investigadors com M. Wheeler, N. Lamboglia, G. Laplace i L. Méroc, Ph. Barker, E.C. Harris, A. Carandini, etc. Els nous interessos de l'arqueologia han fet créixer progressivament l'atenció dedicada al medi ambient (fauna, flora, clima, recursos naturals, etc.), on es desenvolupa la vida dels grups humans objecte d'estudi. Com s'ha citat abans, un estudi arqueològic exhaustiu actualment hauria de mobilitzar una gran varietat d'especialistes de distintes branques científiques, amb la finalitat d'aconseguir dades sobre la interrelació medi natural-cultura i la seva evolució al llarg del temps. Es fa palesa la necessitat d'un diàleg obert entre aquests especialistes i els arqueòlegs per tal de coordinar els treballs de laboratori amb la resta d'activitats de la investigació.

Durant el segle passat i les primeres dècades de l'actual l'arqueòleg es limitava massa sovint a indicacions generals i a assenyalar els punts on calia excavar, a l'espera de les troballes que posteriorment s'encarregaria d'estudiar, mentre que delegava el control directe de l'excavació a ajudants amb poca o nul·la preparació. En l'actualitat estem assistint a

una forta revaloració del treball de camp. Cada vegada són més criticades les excavacions realitzades amb la participació massiva d'obriers (o estudiants-obriers) als quals es compra la força física de treball, mentre que la tasca intel·lectual resta exclusiva d'una o molt poques persones. Cada vegada és més evident la necessitat del treball en equip, des de l'inici del projecte d'investigació fins a la seva conclusió. L'entrelligament del treball manual i l'intel·lectual proporciona uns millors resultats científics, a més a més dels guanys en l'aspecte formatiu dels participants en l'excavació.

Mai no s'ha d'oblidar que l'excavació és un mitjà, no un fi en si mateix. Tot procés de recuperació de dades arqueològiques mitjançant una excavació implica al mateix temps la seva alteració definitiva. Per tal d'evitar-ho al màxim possible és totalment imprescindible una rigorosa tècnica i una estreta col·laboració pluridisciplinària. Quan hi ha una mancança de mitjans humans o materials, cal plantejar-se seriosament si és lícit realitzar l'excavació. Altres procediments poden aportar dades sense malmetre res i informar de quina és la problemàtica existent: la prospecció visual, la fotografia aèria, la prospecció elèctrica, la prospecció magnètica, la prospecció electromagnètica, la prospecció tèrmica, etc. Investigacions d'alt interès poden ésser realitzades sense haver de recórrer a remocions del subsòl. Si es decideix excavar cal plantejar-se a quins punts i de quina manera, segons la informació que es cerqui.

La distinta naturalesa de les dades arqueològiques i de les de la història documental no suposa cap barrera, sinó que poden perfectament completar-se. En el cas dels pobles àgrafs, l'arqueologia té la primacia, però per a èpoques posteriors la col·laboració pot ésser molt fructífera, com és el cas de l'arqueologia medieval. A les èpoques més recents la massa d'informació escrita fa que la intervenció de l'arqueologia no sigui ja imprescindible. Hem volgut contagiar-vos l'eufòria que sentim per aquests nous horitzons de re-

cerca. Només desitgem que si algun dia s'enceta a casa nostra aquest tipus d'investigació, no sigui puntual, obra d'investigadors que treballin sols, sinó l'obra d'equips realment pluridisciplinària, amb un suport adequat i un programa de treball ben raonat que s'interessi pels problemes concrets de l'arqueologia, de l'art i dels museus. Si no s'aconsegueix així, el nostre esforç haurà servit per ben poc.

( Ramon Gabriel )

#### Materials de Lectura

- M.J. Aitken: *Physics and Archaeology*. Oxford Press, 1974.
- Brothwell & Higgs: *Ciència en Arqueologia*. Fondo de Cultura Económica, Mèxic, 1969.
- S. Champion: *A dictionary of terms and techniques in Archaeology*. Ed. Phaidon. Oxford, 1980.
- "Dossiers de l'Archeologie", n.º 39 i n.º 42.
- S.J. Fleming: *Dating in Archaeology*. Londres, 1976.
- S.J. Fleming: *Authenticity in Art*. Ed. Institute of Physics. Londres, 1975.
- R. Gabriel: *La ceràmica i l'arqueometria: una nova ciència interdisciplinària*. (ciència) n.º 12, 1981.
- Libby: *Radiocarbon Dating*. Chicago, 1955.
- M.S. Tite: *Methods of physical examination in Archaeology*. Seminar Press. Londres, 1972.
- K.C. Chang: *Nuevas perspectivas en Arqueología*, 1976.
- A. Schnap: *L'Archéologie aujourd'hui*. Poitiers, Hachette, 1980.
- P.J. Watson; S.A. Leblanc; C.L. Redman: *El método científico en Arqueología*. Madrid, Alianza, 1974.