

# La química de l'art

Nati Salvadó, Salvador Butí i Trinitat Pradell

Grup Anàlisi de Materials de Patrimoni Cultural (AMPC), Universitat Politècnica de Catalunya

Els materials que formen part d'una obra d'art, per les seves característiques de disponibilitat, disposició i concentració requereixen per a la seva anàlisi unes metodologies de mostreig i de preparació adaptades, així com la utilització de tècniques microanalítiques.

Dels resultats es pot obtenir informació molt diversa i útil per al millor coneixement i conservació de les obres. Es mostren alguns exemples on les eines químiques aplicades al coneixement de l'art permeten conèixer les tecnologies de producció i origen dels materials, relacionar-los amb manuscrits i receptes antigues, interpretar fenòmens d'alteració, estudiar la reactivitat i els productes de reacció així com determinar cronologies.

The chemical analysis of materials in works of art requires special techniques both in the sampling process as well in the preparation of probes. In this field, the use of microanalytical techniques is essential.

Interestingly, a great wealth of information can be obtained from chemical analysis, that provides a better knowledge of the artwork as well as on the conservation techniques. In this article we review some examples where the application of chemical characterization techniques applied to works of art have been important in obtaining a precise knowledge on the production techniques of the materials as well as on their origin, relating them to manuscripts describing old recipes. These techniques allow us also to interpret the phenomena that change a work of art along the time, to study the chemical reactivity of the materials and their reaction products, a knowledge that can be used to establish a chronology of the artwork.

**N**o és gens fàcil saber el camí pel qual un objecte esdevé una obra d'art. Moltes vegades aquests objectes ni tan sols han estat concebuts per artistes, però han esdevingut peces d'art, ja que el pas dels segles i la història han fet que adquirissin una patina que els ha fet bells. D'altres vegades van ser fets com a objectes decoratius o com a objectes útils amb la intenció de ser a la vegada bonics.

El patrimoni cultural material té un factor emotiu per a qui el contempla, per les sensacions que provoca. No obstant això, cal reconèixer que un objecte d'art, ja sigui una pintura, una ceràmica, una escultura, un tapís o una peça d'una armadura d'un guerrer antic, tenen un suport material, són matèria, i, per tant, susceptibles de ser contemplats des d'un punt de vista químic.

En aquest article parlarem d'art i de química, de l'art d'aplicar la química i les eines químiques a l'estudi i coneixement de l'art.

## Apropar-nos a una pintura i allunyar-nos-en

En situar-nos davant d'un objecte d'art, d'una pintura posem per cas, tenim tota un sèrie de sensacions, ens poden cridar l'atenció l'harmonia dels colors, la disposició de les imatges, la qualitat del dibuix, l'expressió dels personatges, el tema relatat i molts altres aspectes. Apropem-nos ara, físicament, a l'obra, a pocs metres, a pocs centímetres, i amb la imaginació fem allò que en part podem fer amb les eines d'anàlisi: entrem a l'interior de l'obra, en l'ordre i la dimensió dels materials. Ens trobarem en un món heterogeni, una mescla de substàncies que lentament evolucionen seguint les lleis de la física i de la química.

Aquests materials són els pigments que proporcionen els colors, els aglutinants que cohesionen, els que actuen de càrrega, els vernissos que protegeixen i modifiquen l'aparença dels colors, però també productes d'envelliment que l'artista no va posar i que s'han produït amb el temps, contaminants procedents de processos de síntesi dels materials utilitzats o contaminants ambientals i fins i tot materials introduïts posteriorment per consolidar, netejar o restaurar l'obra.

Ara ens podem fer tota una sèrie de preguntes, com per exemple, aquests materials són naturals o sintètics? Si són naturals, d'on vénen? Eren locals o van necessitar d'una xarxa comercial que els transportés des del seu origen fins al taller de l'artista? Eren materials preuats? En quina època es van utilitzar i per quines raons van deixar de comercialitzar-se? I si trobem materials sintètics, quins en van ser els processos tecnològics de producció? Amb quines indústries es pot associar aquesta producció? Quina era la disponibilitat de matèries primeres necessàries? És evident que el progrés en els materials utilitzats està íntimament relacionat amb el progrés de la tècnica i de la química.

Ens fixem que alguns dels materials utilitzats són productes naturals i químicament complexos, com ara el rovell i la clara d'ou, les coles animals, els derivats de la llet, els olis assecants, les resines, les terres i diversos minerals. La majoria han evolucionat amb el pas del temps, i a causa de reaccions entre els mateixos materials en contacte entre ells i amb els de l'ambient, i tot plegat afectat per les condicions de conservació de l'obra.

Allunyem-nos ara i situem-nos de nou en la perspectiva de contemplar la pintura en conjunt. Possiblement la veurem una mica diferent, sentirem que la coneixem millor, que l'entendem millor, ara tenim noves sensacions per entendre l'obra, a part de la seva combinació de colors i l'harmonia de les figures. Ara en coneixem els detalls íntims i podem situar-la millor en el context cultural, històric, comercial i tècnic que la va fer possible.

Proposem-nos un nou retrobament amb l'obra, tot acostant-nos-hi amb valors afegits. La volem conservar? Volem que perduri en el temps amb l'aspecte tan similar com sigui possible que tenia en el moment de ser pintada? Com podem fer que els materials s'estabilitzin al màxim? Quines són les condicions ambientals adequades per evitar un envelliment prematur? I en el cas que aquest envelliment ja s'hagi produït o que l'obra estigui feta malbé per alguna raó, s'ha de restaurar? Com s'ha de restaurar? Quins materials hem d'utilitzar per consolidar o netejar sense produir gaires modificacions en la composició original? S'han de reintegrar materials per ajudar a la lectura de l'obra? El coneixement dels materials ha d'ajudar a decidir quines substàncies s'hi poden introduir i quines no.

Per tot això hem de conèixer la química dels materials, tant dels originals com dels nous, la seva naturalesa i també, si és possible, la seva reactivitat a curt i a llarg termini.

La limitada disponibilitat dels objectes, especialment en el cas de les peces de museu, requereix l'ús de tècniques adaptades a treballar amb mostres de dimensions molt petites i moltes vegades irrepetibles. La disposició en capes dels materials i la poca concentració en què es troben algunes substàncies fa que sigui necessari la utilització de tècniques microanalítiques. Les tècniques més usualment emprades són la microscòpia òptica (OM), la microscòpia electrònica (SEM) amb anàlisi d'energies dispersades (EDS), la microespectroscòpia d'infraroig (micro-FTIR), l'espectroscòpia Raman, la difracció de raigs X (XRD), la fluorescència de raigs X (XRF) i tècniques de separació com la cromatografia de gasos (GC-MS), la cromatografia líquida (HPLC) i l'electroforesi capil·lar (CE). Totes aquestes tècniques han d'anar acompanyades de metodologies específiques de presa i preparació de les mostres. Per poder fer un pas endavant en el coneixement d'aquests materials, en els últims anys s'estan utilitzant equipaments sofisticats i grans instal·lacions, com la llum sincrotró associada a la difracció de raigs X (SR-XRD) i a la microespectroscòpia d'infraroig (SR-FTIR) [1].

## Una mirada a alguns exemples

Els canvis importants en l'evolució de la humanitat han anat sempre acompanyats de nous coneixements per manipular i transformar la matèria per obtenir nous productes. Això ha permès disposar de millors eines per treballar al camp i millors armes per fer la guerra, però també ha permès d'obtenir objectes amb noves formes, textures i colors.

El primer pigment que es coneix obtingut de la transformació de materials naturals és el blau egipci.

El blau egipci va ser el primer pigment sintètic utilitzat a l'antiguitat. Se sap que es va fer servir en pintures de tombes a Egipte a l'entorn del 2300 aC i durant els següents tres mil anys fins a la fi de l'Imperi romà. Va ser àmpliament utilitzat com a pigment i també en la producció de petits objectes dels quals s'han trobat exemples dispersos pels dominis de l'Imperi romà. Consisteix en cristalls de tetrasilicat de calci i coure,  $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$ , amb estructura de cuprorivaita i s'obtenia fent

reaccionar per escalfament un compost de calci com la calçita, un compost de coure com la malaquita, sorra (quars) i un àlcali com el natró (carbonat de sodi).

En el llibre *Arquitectura*, de Vitruvi [2], hi apareix la primera recepta per a la preparació del pigment que avui anomenem *blau egipci*. Hi diu: «[...] ab ignis vehementia confervescendo coalerint, inter se dando et accipiendo sudores a proprietatibus discedunt suisque viribus per ignis vehementiam confectis caeruleo rediguntur colore.»<sup>1</sup> Dos mil anys després, aquestes transformacions encara mantenen la nostra curiositat.

Actualment, l'ús de tècniques instrumentals més o menys sofisticades ens aporta eines per avançar en el coneixement dels materials antics. Així, estudis fets utilitzant la difracció de raigs X a alta temperatura amb llum sincrotró i microscòpia electrònica de rastreig han permès conèixer les fases de transformació i els intervals de temperatura en què es produeixen, i detalls com que en la producció de blau egipci, els cristalls de cuprorivaita es formen per nucleació i creixement en un líquid de silicat en afegir una petita quantitat d'un fundent (entre un 1 i un 5 % en pes de Na<sub>2</sub>O) a la barreja original i a temperatures properes als 1.000 °C. No és estrany que aquest pigment es produís a Egipte, ja que la seva especial climatologia fa que s'hi puguin localitzar dipòsits de les matèries primeres necessàries per a la seva síntesi, com és el carbonat de sodi (natró) [3].

Avui a Catalunya encara podem trobar alguns vestigis de polícromies d'època romana en les quals podem trobar blau egipci (figura 1). Sembla que els artesans viatjaven des d'Itàlia i difonien la moda romana, l'estil, les tècniques i els materials. Cal dir que s'exportaven els materials i no els processos tecnològics de producció dels materials i, com a conseqüència de la desaparició de l'Imperi romà i les rutes de comerç, el blau d'egipci es deixa d'utilitzar.

En tallar-se les vies comercials amb els centres de producció es crea la necessitat de buscar alternatives als pigments. Especialment en el nostre entorn, les relacions amb l'Imperi d'orient van tardar molts anys a recuperar-se. Però un gran esclat artístic es va produir als Pirineus uns segles després, ex-

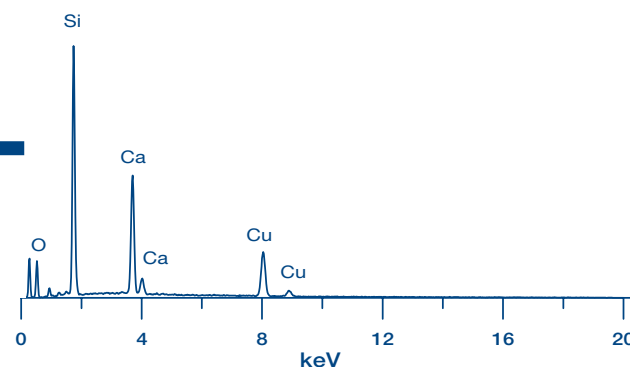
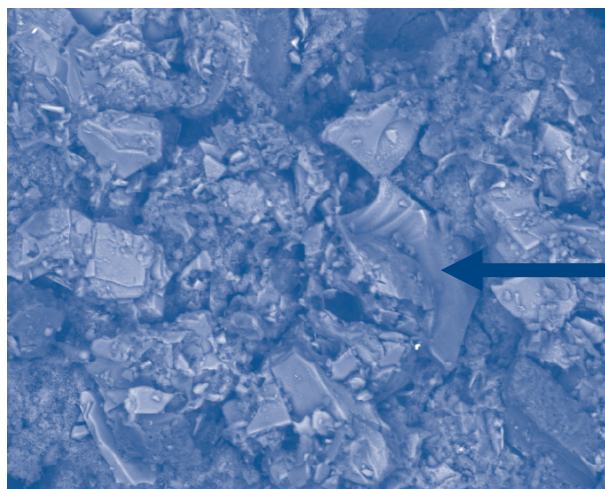
pansió demogràfica i eufòria religiosa es van unir per construir i decorar una gran quantitat d'esglésies que ara anomenem *romàniques*, i que van colonitzar tots els racons de la Catalunya naixent. La dificultat d'obtenir pigments blaus que havien de ser importats, com ara els pigments minerals atzurita o el molt preuat lapislàtzuli, només a l'abast dels poderosos, devien propiciar el fet de recórrer a l'ús d'un blau local com l'aerinita. L'aerinita és un silicat fibrós de color blau,<sup>2</sup> [4] més o menys abundant als Pirineus i que, per tant, era accessible (figura 2).

De l'època medieval es coneixen uns quatre-cents receptaris i tractats manuscrits [5] que descriuen preparacions de materials per artistes i artesans, i les maneres d'utilitzar-los. Alguns estan basats en textos anteriors o bé tornats a escriure. En aquests escrits s'hi troben relacions de pigments i materials, s'hi explica la preparació dels pigments per als colors utilitzats en art i artesanía, i s'hi proposa els que van més bé o donen més bons resultats amb determinades tècniques. És interessant poder relacionar els materials que havia utilitzat un determinat pintor amb els descrits en els manuscrits. A mesura que anem engruixint el nombre de dades, podrem relacionar millor la difusió que tenien aquests manuscrits i les seves influències en les diferents escoles de pintors. Particularment en l'època gòtica, s'utilitzaven molt pigments verds de coure sintètics. Aquests pigments eren productes de corrosió de coure coneguts des de l'antigor, però que no es van utilitzar àmpliament com a pigments fins que no se'n va controlar el procés de fabricació. Originàriament aquests productes de corrosió s'obtenien a base de tractar coure o aliatges de coure amb vapors de vinagre sobretot. Els productes que s'obtenien eren acetats de coure i acetats bàsics de coure. De l'estabilitat d'aquests productes utilitzats com a pigments ja se'n parla en els tractats de l'època, per exemple, Cennino Cennini en el seu *Il Libro dell'arte* i Leonardo da Vinci en el seu *Tractat de pintura*. Cennino Cennini recomana que el producte obtingut es molgui amb vinagre, perquè així s'obté un producte més estable i els acetats bàsics de coure es converteixen en acetats de coure més o menys hidratats que són més estables.

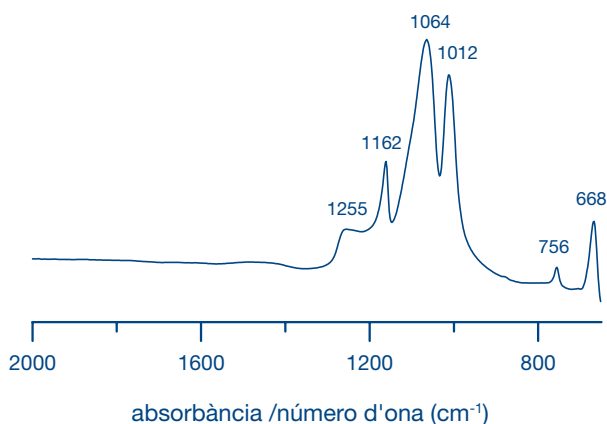
En els manuscrits medievals hi podem trobar diverses receptes modificades de com produir pigments verds de coure sintètics, així per exemple Teòfil, en el seu tractat [6], introdueix la sal i

1. «[...] bullint per la força del foc, s'hauran unit, tot intercanviant les seves secrecions, s'allunyen de les seves propietats i, perdudes les qualitats per la força del foc, són reduïts al color blau.»

2.  $(Ca_{5,1}Na_{0,5})(Fe^{3+}AlFe^{2+}_{1,7}Mg_{0,3})(Al_{5,1}Mg_{0,7})[Si_{12}O_{36}(OH)_{12}H]-[(CO_3)_{1,2}(H_2O)_{12}]$



Pintures murals romanes (carrer Avinyó de Barcelona). A la imatge obtinguda per SEM de la capa de color blau s'hi observen partícules de blau egipci en una matriu de carbonat de calci. Es mostra un espectre SEM-EDS d'una partícula de color blau. S'ha utilitzat la tècnica de microscòpia electrònica de rastreig amb un sistema de microanàlisi elemental, SEM-EDS. (Equip: Cambridge S-120, microanalitzador PCXA LINK EDS.)



Pintures murals romanes (l'Espelt, Anoia). Espectre micro-FTIR d'una partícula de blau egipci. Obtingut a l'estació 11.1 de la SRS de Daresbury Laboratory, amb un espectrofotòmetre NEXUS equipat amb un microscopi Nicolet Continuum (detector MCT).

FIGURA 1. Anàlisi del pigment blau egipci trobat en pintures romanes.

la mel en el procés d'elaboració,<sup>3</sup> i el resultat és una mescla complexa de compostos de coure, com carbonats bàsics de coure, hidroxiclors de coure i acetats de coure.

3. Capítol XLII. Sal verda. «Si vols fer color verd agafa llenya d'alzina, de la llargada i l'amplada que vulguis, i buida-la en forma de caixa. Després agafa coure i fes-ne làmines de l'amplada que vulguis, de tal manera però que l'allargada cobreixi l'amplada del buidat de la fusta. Després d'això agafa una copeta plena de sal, i premla ben fort i posa-la al foc i cobreix-la amb carbó durant la nit, i l'endemà mol-la amb molta cura sobre una pedra seca. Agafa branques petites i col·loca-les a la caixa esmentada de tal manera que dues parts de la cavitat estiguin a sota i una tercera a sobre. I així podràs recobrir les làmines de coure amb mel pura a banda i banda, tirant per damunt sal en pols, i les col·locaràs sobre les branquetes, cobrint amb la màxima cura amb una fusta disposada per a això, de manera que no puguin sortir gens de vapors. Fes un forat a l'angle de la fusta per tal de poder abocar vinagre ca-

Analitzant pigments verds procedents de pintura gòtica catalana hem pogut constatar que receptes com les de Teòfil eren ben conegudes.

lent o orina calenta fins a omplir-ne la tercera part, i tot seguit tapa el forat. Has de col·locar la fusta on la puguis cobrir de fems per tot arreu. Al cap de quatre setmanes obre la tapa i rasca i conserva allò que trobis sobre el coure, i torna-ho a posar un altre cop i tapa-ho com abans.»

Capítol XLIII. «Verd hispànic. Si veritablement vols obtenir verd hispànic agafa làmines primes de coure, rasca-les amb molta cura banda i banda, banya-ho amb vinagre pur i calent sense mel ni sal, i les disposes en una fusta buidada més petita, de la forma que s'ha esmentat més amunt. Després de dues setmanes inspecciona i rasca, i fes això fins que tinguis prou color.»

*Schedula Diversarum Artium*, segle XI-XII.

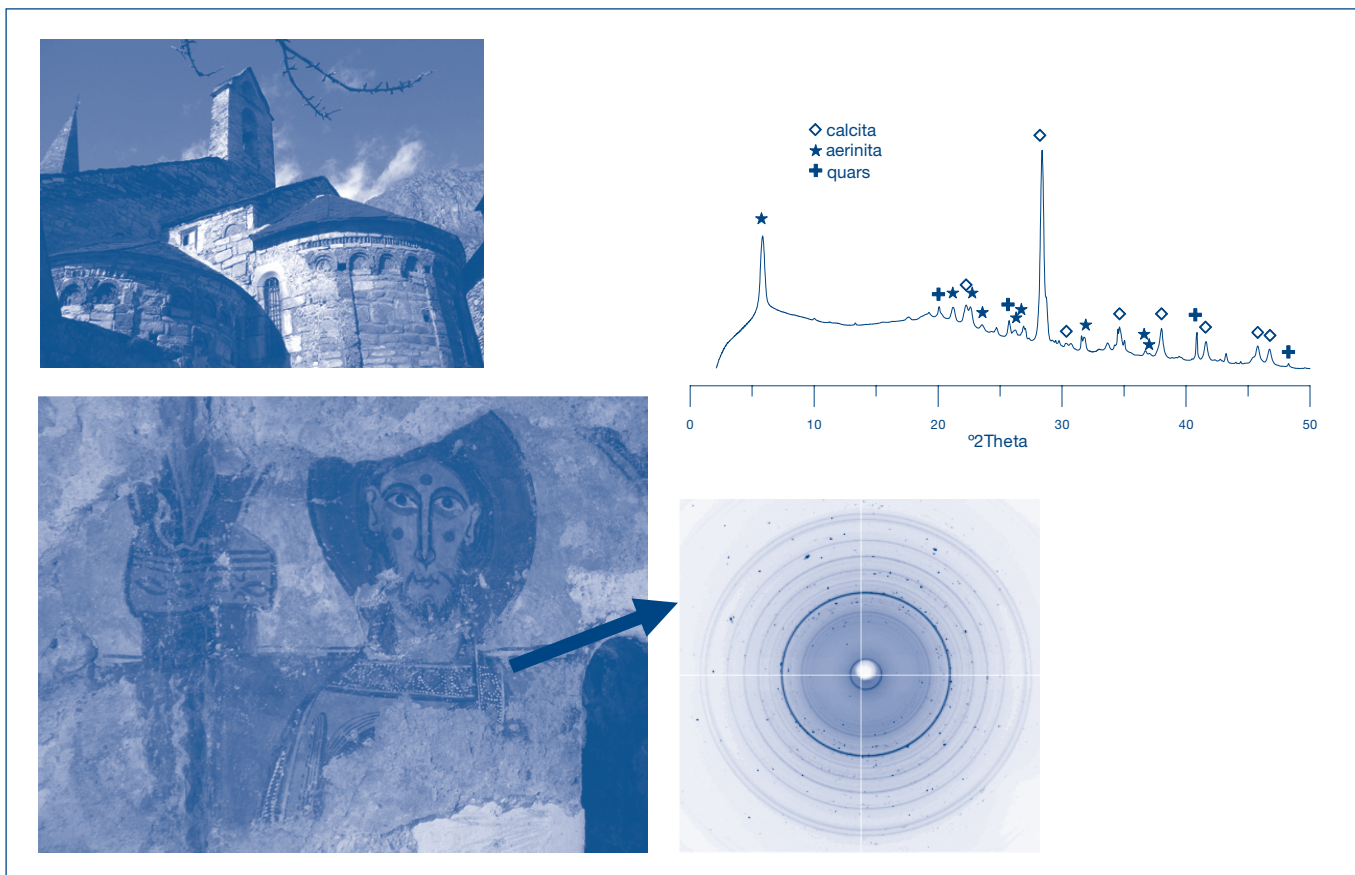


FIGURA 2. A l'absis de l'església de Santa Eulàlia d'Unha de la Vall d'Aran s'hi poden trobar, darrere d'un retaule barroc, unes pintures murals romàniques. El pigment blau utilitzat per l'artista és l'aerinita, tant en els tons blaus com en els tons verds, que són obtinguts mesclant-la amb goethita de color ocre-groc.

A la figura veiem l'exterior de l'absis on hi ha les pintures, un detall de les pintures i el punt de presa de mostra. Es representa un difractograma de la capa de policromia de color blau on es caracteritza aerinita. L'anàlisi s'ha dut a terme a la línia BM16 del ESRF a Grenoble.

Amb el pas dels anys, canvis de moda, necessitats d'espai, obres de manteniment dels edificis o simple higiene, han suposat importants intervencions, modificacions o pèrdues de pintures murals. Una de les intervencions més freqüents ha estat la dels encalçats, cosa que és molt habitual de trobar en els interiors de les esglésies, sovint amagant pintures antigues. En alguns casos això ha pogut representar la preservació de les pintures. Malgrat tot, el gust modern per la pedra nua ha significat la destrucció i probablement la pèrdua d'importants conjunts pictòrics.

El fet de recobrir de calç algunes pintures murals pot propiciar algunes alteracions dels materials. N'és un exemple el viratge cromàtic produït en pigments de plom per l'acció dels materials utilitzats en el procés (figura 3) i que es posa de manifest en destapar pintures que tenen aquests pigments. Sembla que ja en època romana es coneixia la incompatibilitat

d'utilitzar pigments de plom en pintura al fresc, és a dir, en contacte el pigment amb la calç.

La interacció entre materials que conformen les capes pictòriques és un fet evident. Aquestes reaccions poden tenir diferents implicacions, algunes de les quals són necessàries per obtenir els resultats, l'estabilitat i els aspectes desitjats de la pintura; ara bé, d'altres poden ser causa d'alteracions.

En la tècnica a l'oli, tècnica que es va difondre i va ser àmpliament utilitzada a partir del segle XV, s'utilitzen olis assecants com a vehicle pictòric. Els més habituals són olis vegetals de nous, llinosa i de pintacoques o cascall.

El perfeccionament de tècniques com la destil·lació va propiciar l'obtenció d'olis de major qualitat i amb més possibilitats d'aplicació en pintura. És evident que les tècniques pictò-

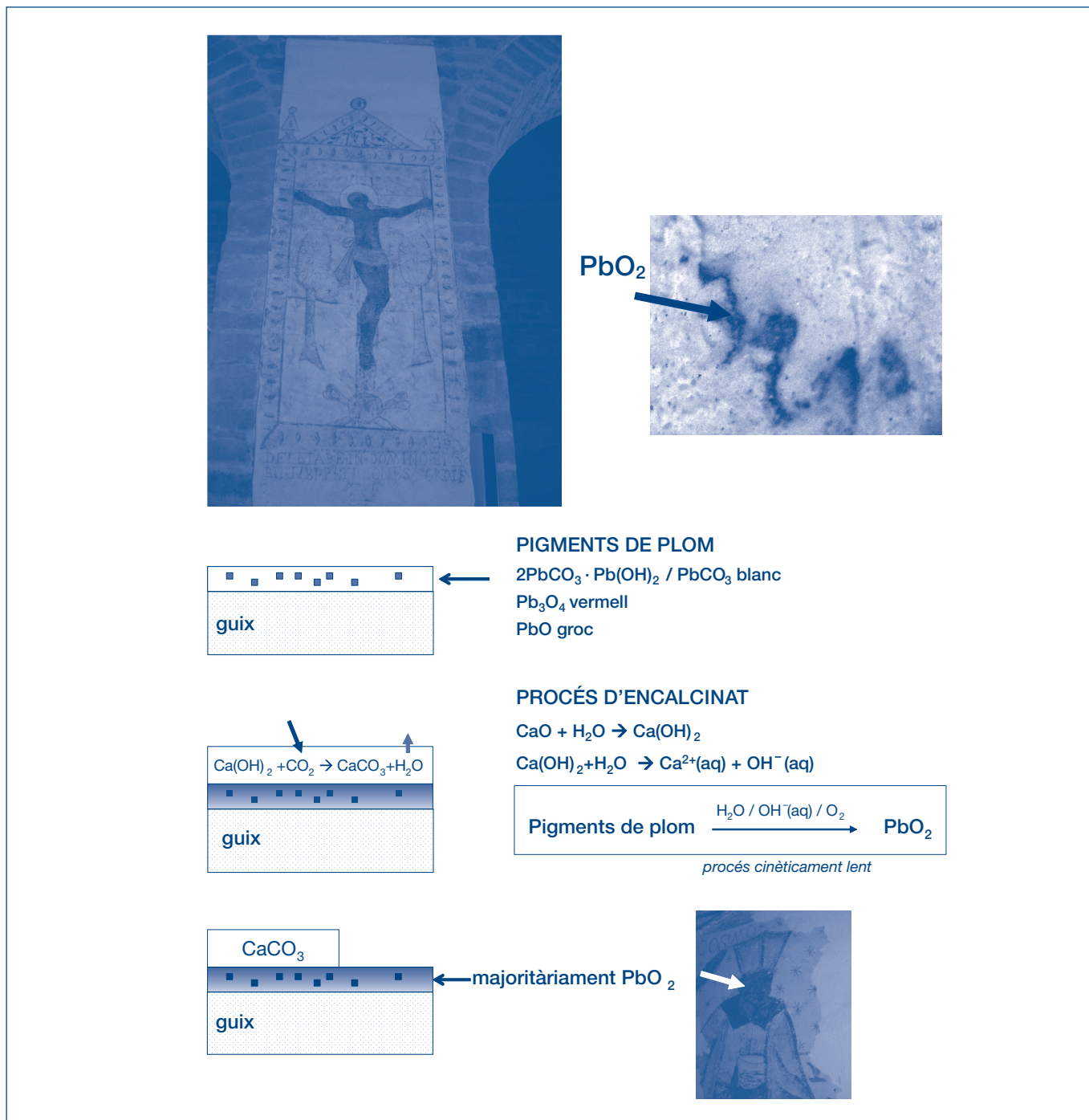


FIGURA 3. Pintures murals de l'església de Tredós (Cap d'Aran a la Vall d'Aran), del segle XVII, pintades al tremp de cola sobre una preparació de guix. A la fotografia es pot observar l'alteració deguda a l'encalcinat. És ben visible que les carnacions de les figures s'han ennegrit totalment per causa que els pigments de plom s'han transformat en  $PbO_2$  de color negre. El procés s'ha reproduït al laboratori.

riques han anat evolucionant amb l'avanç de la tecnologia. El procés d'asseccament de l'oli inclou l'autooxidació i la polimerització. Segons el pigment variaran els processos químics associats a l'envelliment natural de l'oli.

Un exemple de productes de reacció que s'han pogut detectar i separar són els carboxilats de metalls [1] [7], aquests provenen de la reacció entre els àcids grassos lliures procedents dels olis i els metalls procedents de pigments o de càrregues (figura 4).

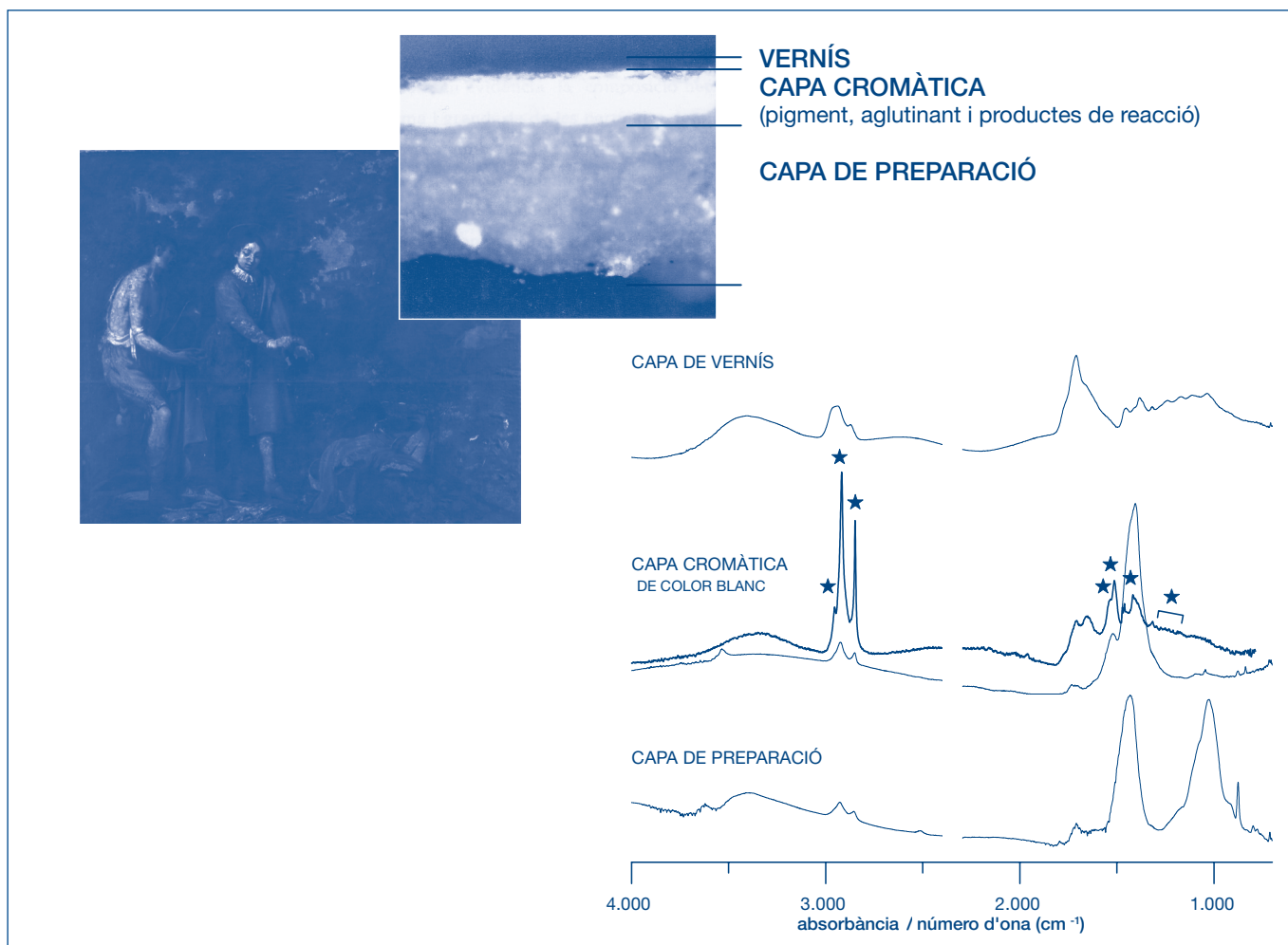


FIGURA 4. Antoni Viladomat (Barcelona, 1678–1755) és un pintor barroc català; l'obra de l'exemple pertany a la sèrie de Sant Francesc, un dels més reconeguts conjunts pictòrics d'aquesta època, formada per vint quadres pintats a l'oli sobre tela actualment al MNAC. Hi podem veure Sant Francesc canviant la seva roba per la d'un pobre.

El fragment analitzat correspon a una mostra de color blanc. La mostra presenta una distribució dels materials en capes. La capa per sobre de la tela és una capa de preparació feta a base de calcita i argiles (il·lita) d'una coloració terrosa. Per sobre d'aquesta hi ha una capa cromàtica blanca on el pigment és blanc de plom (carbonat de plom / carbonat bàsic de plom). Per sobre hi ha una capa de vernís d'una resina natural triterpènica d'origen vegetal.

A la capa cromàtica es poden detectar carboxilats de plom com a productes de reacció entre el medi aglutinant i el pigment, és a dir, entre els àcids grassos provinents de l'oli i el plom provinent del pigment.

A la figura es pot veure una seqüència d'espectres d'infraroig de les diferents capes. S'ha indicat amb el símbol ★ les bandes corresponents a carboxilats de plom. L'equip utilitzat és un NEXUS equipat amb un microscopi Nicolet Continuum.

Actualment s'estan fent nombroses intervencions arqueològiques d'edat moderna, moltes de les quals encaminades a retrobar tecnologies o indústries com ara fargues, saboneries, molins, adobaries... Sovint en queda documentació, i a més memòria històrica, i encara podem trobar petits tallers que ens recorden aquests processos o els ajuden a entendre. De vegades, però, les cronologies no són prou clares. Així, per exemple, la caracterització de determinats pigments localit-

zats a les excavacions pot permetre acotar l'època de les instal·lacions. Un pigment localitzat en una antiga factoria ens pot donar idea que hi havia hagut activitat posterior a la seva síntesi i a la seva comercialització (figura 5). Pigments com el blau d'ultramar sintètic, que es va produir a partir de finals de la dècada del 1820, el 1870 ja era un pigment estàndard entre els pintors. Un pigment groc que és una mescla de cromat de plom i sulfat de plom, i que sembla que s'obtenia per copreci-

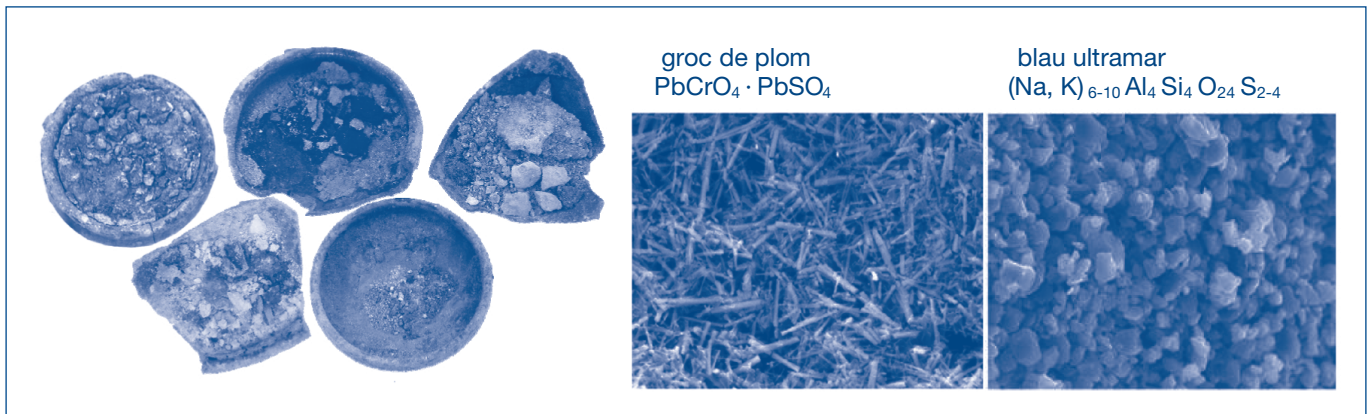


FIGURA 5. Cassoletes amb restes de pigment localitzades en unes instal·lacions d'una antiga adobaria al municipi de Granollers, s'hi ha determinat pigments com ara el blau ultramar sintètic, cromat de plom / sulfat de plom, sulfat de bari. Es mostren dues imatges obtingudes amb la microscòpia electrònica de rastreig. (Equip: Cambridge S-120, microanalitzador PCXA LINK EDS.)

pitació, es va sintetitzar per primer cop l'any 1804 i se'n va popularitzar l'ús a partir del descobriment de dipòsits de cromita al departament francès de Var, a la tercera dècada del segle XIX. També és a començament del segle XIX quan es va popularitzar l'ús del sulfat de bari (blanc) com a material pictòric [9]. Molts dels pigments deixen d'utilitzar-se a partir d'un moment per causes diverses: escassetat de matèries primeres, preu, propietats, toxicitat, etc. Pigments com el blanc de plom, que han estat molt utilitzats des de molt antic,<sup>4</sup> actualment estan prohibits per la seva toxicitat.

Avui dia, gràcies a les anàlisis químiques dels objectes antics i les obres d'art amb l'ajut de textos antics i troballes arqueològiques, podem respondre a moltes qüestions de la nostra història. La química ha contribuït de forma important a l'evolució de l'art, però també gràcies a la química podem entendre, apreciar i conèixer millor l'art.

## Referències bibliogràfiques

1) SALVADÓ, N.; BUTÍ, S.; TOBIN, M. J.; PANTOS, E.; JOHN, A.; PRAG, N. W.; PRADELL, T. «Advantages of the use of SR-FT-IR microscopy: Applications to Cultural Heritage». *Analytical Chemistry*, núm. 77 (2005), p. 3444-3451.

4. Segons Palomino, en el seu tractat *El Museo Pictórico y Escala Óptica*, nota 11, pàg 527, «Digamos ahora del albayalde, que es el pan de la pintura al óleo, pues sin él no se puede pintar, porque ayuda a todos los colores, para guardar los claros, carnes, y paños blancos.» [8]

(Albayalde fa referència al blanc de plom  $PbCO_3$  /  $Pb_3(CO_3)_2(OH)_2$ ).

- 2) VITRUVIUS POLLIO, Marcus. *De Architectura Liber*. Vol. VII: *Los diez libros de arquitectura*. Madrid: Alianza Forma, 2000. [1a ed., 1995] [Text original de l'any 27 aC]
- 3) PRADELL, T.; SALVADÓ, N.; HATTON, G. D.; TITE, M. S. «Physical processes involved in production of the ancient pigment, egyptian blue». *Journal American Ceramic Society*, núm. 89 (abril 2006), p. 1426-1431.
- 4) RIUS, J.; ELKAIM, E.; TORRELLES, X.; *Eur. J. Mineral.*, núm. 16 (2004), p. 127.
- 5) BORDINI, S. *Materia e imagen: Fuentes sobre las técnicas de la pintura*. Barcelona: Serbal, 1995.
- 6) ESCALOPIER, C. *Théophile prète et moine: Essai sur divers arts 1843*. París, 1996.
- 7) HIGGITT, C.; SPRING, M. SAUNDERS, D. «Pigment-medium Interactions in Oil Paint Films containing Red Lead or Lead-tin Yellow». *National Gallery Technical Bulletin* [National Gallery], vol. 24 (2003).
- 8) PALOMINO, A. *El Museo Pictórico y Escala Óptica, 1715-1724*. Madrid: Aguilar, 1988. [Reedició]
- 9) *Artists' Pigments: A handbook of their history and characteristics*. Washington: National Gallery of Art: Oxford University Press. Vol. 1 (1985), vol. 2 (1986) i vol. 3 (1997).

## Agraïments

Els autors agraeixen a les empreses TdArt i Arqueocat SL i al Museu Nacional d'Art de Catalunya (MNAC) i el Museu de la Pell d'Igualada i Comarcal de l'Anoia l'accés al material que es mostra en els exemples.



## Autors

*Els autors d'aquesta publicació pertanyen al grup de recerca Anàlisi de Materials de Patrimoni Cultural de la UPC. Una de les línies de treball del grup, i concretament dels autors de l'article, se centra en la utilització de la llum síncrotró en l'estudi de materials de patrimoni cultural.*

*Nati Salvadó és llicenciada en química per la Universitat de Barcelona l'any 1990 i doctora en química per la mateixa universitat l'any 2001, va fer la seva tesi doctoral sobre la caracterització de materials en la pintura de Jaume Huguet. La seva recerca s'ha centrat des d'un primer moment en el patrimoni cultural i especialment en el camp de la pintura. Actualment és professora del Departament d'Enginyeria Química de la UPC a l'Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú.*

*Salvador Butí és llicenciat en química per la Universitat de Barcelona l'any 1976 i doctor en química per la mateixa universitat l'any 1998. Químic analític de formació, ha treballat en l'estudi dels equilibris en medis no aquosos i hidroorgànics, des de fa uns anys la seva recerca se centra en els materials de patrimoni cultural. Actualment és catedràtic d'escola universitària del Departament d'Enginyeria Química de la UPC a l'Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú.*

*Trinitat Pradell és llicenciada en física per la Universitat de Barcelona l'any 1985 i doctora en física per la mateixa universitat l'any 1992. Es dedica a la ciència de materials, en particular a l'estudi de materials metaestables amorfs, vidres, vidrats, ceràmics i, en general, tota mena de materials relacionats. Actualment és professora titular d'universitat del Departament de Física i Energia Nuclear de la UPC a l'Escola Superior d'Agricultura de Barcelona al campus de Castelldefels.*