

# Estudi de les pàtines ocre-vermelles del retaule d'alabastre de l'altar major del monestir de Santa Maria de Poblet (Tarragona)

Fruit d'un projecte multidisciplinar que aborda estudis dels materials del retaule de l'altar major del monestir de Santa Maria de Poblet des dels vessants històric, de conservació-restauració i geològic, en aquest treball es presenta una part dels resultats d'aquest projecte. L'anàlisi petrològica, física i química de les taques ocre-vermelloses que cobreixen part de la superfície de l'alabastre ha permès caracteritzar-les i determinar-ne els possibles orígens.

## **Study of the ochre-red coloured patinas of the alabaster altarpiece of the high altar of the monastery of Santa María de Poblet (Tarragona)**

Fruit of a multidisciplinary project through the study of the materials of the altarpiece of the high altar of the monastery of *Santa María de Poblet*, from a historical and geological point of view and dealing with aspects of conservation and restoration, this article presents some of the results of the project. The petrological, physical and chemical analysis of the ochre-red stains, covering part of the surface of the alabaster, have allowed the characterization and determination of their possible origins.

**Meritxell Beltran Varea.** Llicenciada en Geologia per la Universitat de Barcelona.  
*Bachelor in Geology by the University of Barcelona.*  
mbv103@hotmail.com

**Elisabet Playà Pous.** Professora Titular del Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica, Universitat de Barcelona.  
*Professor of the Department of Geochemistry, Petrology and Geological Prospecting, University of Barcelona.*  
eplaya@ub.edu

**Montserrat Artigau Miralles.** Professora de Conservació i Restauració d'Escultura de l'ESCRBCC.  
*Teacher of Conservation and Restoration of Sculptures at the ESCRBCC.*  
martigau@xtec.cat

**Paraules clau:** pàtines d'alteració, alabastre, Santa Maria de Poblet, reconeixement, caracterització.  
**Keywords:** *patinas of alteration, alabaster, Santa María de Poblet, recognition, characterization.*

**Data de recepció:** 22-6-2012. / **Date of receipt:** 22-6-2012.



## INTRODUCCIÓ

Són molt nombroses les recerques realitzades en el retaule de l'altar major del monestir de Santa Maria de Poblet, des de diferents perspectives, essent algunes de les més rellevants els treballs publicats per Morte i Yeguas en què s'analitza el vessant historicosocial de la peça escultòrica i del seu autor, el mestre renaixentista (segle XVI) Damià Forment.<sup>1</sup> Ara bé, l'anàlisi específica i profunda del suport petri del retaule (alabastre de guix) no s'havia realitzat anteriorment. L'inici d'una línia de recerca en aquesta direcció permetria resoldre (o avançar un pas en la seva resolució) algunes de les qüestions que es plantegen al voltant d'aquesta obra: quina és la procedència del material petri usat en la seva realització? Totes les peces de roques es van extreure de la mateixa àrea? Com ha respost aquest material al pas dels segles? Quines accions posteriors s'hi han realitzat? Com s'espera que la peça respongui en el futur? Quines accions es poden realitzar per preservar-la en bon estat?

Liaño presentà uns primers resultats en què es caracteritzaren alguns dels components químics d'aquest material, però sense arribar a aprofundir en les implicacions que aquestes proves analítiques oferien i presentant conclusions poc argumentades.<sup>2</sup> En aquesta línia, la Dra. Elisabet Playà (professora titular del Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica –GPPG– de la Universitat

de Barcelona) i la Sra. Montserrat Artigau (professora de l'ESCRBCC) van engegar un projecte de recerca multidisciplinària, que abasta aspectes relacionats amb la història, la conservació-restauració i la petrologia-geoquímica del material del retaule de l'altar major del monestir de Santa Maria de Poblet. Artigau<sup>3</sup> i Artigau i Porta<sup>4</sup> presenten els primers treballs específics sobre la conservació i restauració del retaule. Posteriorment, Artigau i Playà i Playà et al.<sup>5</sup> presentaren alguns dels resultats obtinguts de l'estudi del propi alabastre, mostrats des de la perspectiva geològica; per tant, es va tractar el suport petri com a una roca, i es van aplicar les tècniques

<sup>1</sup> Vegeu MORTE, C. *Damián Forment y el renacimiento en Aragón*. A: col·l. "Cuadernos de Arte Español", Historia 16 (Madrid), 28 (1992); MORTE, C. *Damián Forment escultor del Renacimiento*, Caja Inmaculada, Zaragoza, 2009; YEGUAS I GASSÓ, J. "L'escultor Damià Forment a Catalunya". A col·l. *Espai/Temps*, Universitat de Lleida (Lleida), 36, (1999) i YEGUAS I GASSÓ, J. *L'escultura a Catalunya entre 1490 i 1575: de la tradició medieval a la difusió i consolidació de les formes "a la romana"*, Publicacions Universitat de Barcelona, Barcelona, 2001.

<sup>2</sup> Vegeu la nota 12 de la pàgina 198 de LIAÑO, E. *Poblet. El retablo de Damián Forment*, Monasterio de Poblet, 2007.

<sup>3</sup> Vegeu ARTIGAU, M. *Escultura de San Sebastián, procedente del altar mayor del monasterio de Poblet. Intervención de conservación y restauración*, 2005 (inèdit, exemplar original: Sociedad Estatal para la Acción Cultural Exterior, Madrid); ARTIGAU, M. "Renaixement i barroc al monestir de Poblet: conservació i restauració de dues obres cabdals", *Unicum* (Barcelona), 6 (2007), p. 72-76 i ARTIGAU, M. "La reconstrucció del retaule major de Poblet a càrrec de l'escultor Modest Gené", *Unicum* (Barcelona), 8 (2009), p. 128-133.

<sup>4</sup> Vegeu ARTIGAU, M., PORTA, E. "Diagnòstic de lesions i proposta d'intervenció del retaule de l'altar major de l'església del monestir de Poblet", *Unicum* (Barcelona), 1 (2002), p. 12-16 i ARTIGAU, M., PORTA, E. "Conservació del retaule d'alabastre de l'església del monestir de Poblet", *Rescat. Butlletí del Servei de Restauració de Béns Mobles de la Generalitat de Catalunya* (Barcelona), 13 (2003), p. 2-3.

<sup>5</sup> Vegeu ARTIGAU, M., PLAYÀ, E. "L'alabastre de Sarral com a suport escultòric. Descripció i introducció geològica", *Unicum*, (Barcelona), 10 (2011), p. 73-84 i PLAYÀ, E.; ARTIGAU, M.; TAULER, E. "Caracterització i estudi de procedència de l'alabastre del retaule de l'altar major de Poblet". *Unicum* (Barcelona), 10 (2011), p. 85-95.

Aspecte visual de les pàtines d'oxidació. Pàtina d'oxidació 7 situada al primer pis. Escala: llapis, 14.5 cm. (Fotografia: Elisabet Playà).

habituals en aquests tipus de materials. Es posà de manifest la procedència de l'alabastre de les pedreres de la zona de Serral i, per tant, es corroborà la informació disponible prèviament, basada en la documentació històrica preservada.

La globalitat del projecte ha incorporat també l'estudi d'altres materials, a part de l'alabastre. En la present publicació, seguint la línia de recerca multidisciplinària, es presenta l'estudi de les taques ocre-vermelloses visibles a la superfície de l'alabastre del retaule. L'anàlisi d'aquestes taques ha permès la seva caracterització i l'establiment d'una teoria sobre el seu origen de formació. La resposta a aquestes preguntes ha donat llum al plantejament d'un futur protocol a seguir per conservar en bon estat el retaule en les zones afectades per aquestes taques.

Altres materials que s'estan estudiant en l'actualitat són els guixos i escaioles de restauració afegits al retaule a llarg de la seva història. La caracterització petrològica i química d'aquests materials ha de servir per entendre millor les diferents accions de restauració i conservació que ha sofert el retaule fins a l'actualitat, atès que cada autor ha usat guixos i escaioles amb característiques pròpies.

En definitiva, en el present treball es publica una part d'una recerca global i multidisciplinària que té l'ambició d'aprofundir en el coneixement integral de la gran obra clau en la història del Renaixement català: el retaule de l'altar major del monestir de Santa Maria de Poblet.

## METODOLOGIA

El dia 28 d'octubre de 2010 es va dur a terme la presa de les mostres procedents del retaule de l'altar major del monestir de Santa Maria de Poblet. (**Taula 1**) El mostreig va poder ser realitzat gràcies a la disponibilitat de la bastida col·locada al retaule major del monestir. Aquesta bastida va ser muntada en motiu dels treballs preliminars de neteja i conservació realitzats per l'empresa Lesena Servei Integral del Patrimoni, supervisats pel Sr. Pau Arroyo. Durant aquest procés es varen poder obtenir dos tipus de mostres: fragments mil·limètrics-centimètrics (extrets amb l'ajut del micromartell i de la microescàrpi) i mostres en pols (rascada amb la microespàtula). Les mostres van ser classificades i es realitzà una selecció de les que permetien els seus estudis geoquímics, ja que es disposava de moltes mostres però en quantitats molt petites. Posteriorment, es va procedir a la realització de quatre làmines primes sense cobrir a partir d'alguns fragments de mostra, corresponents a les seccions transversals de les pàtines, per tal d'efectuar l'estudi petrològic amb microscòpia òptica de llum transmesa, de fluorescència i de catodoluminescència. Alguns

fragments, concretament cinc d'ells, varen ser estudiats mitjançant microscòpia electrònica de rastreig (SEM, ESEM Quanta 200 i microanàlisi EDAX acoblat) dels Serveis Científics i Tecnològics de la Universitat de Barcelona. També, es varen realitzar cinc anàlisis de difracció de raig-X (DRX) de mostra en pols i de fragments de mostra, per tal de caracteritzar la mineralogia que constitueix les diferents pàtines. Tot i que el muntatge de les mostres va dependre de la seva tipologia, les condicions de mesura (6 h de lectura) varen ser iguals per a totes elles (pols i fragments). Aquestes anàlisis es varen efectuar per mitjà d'un difractòmetre dels Serveis Científics i Tecnològics de la Universitat de Barcelona. Les dades obtingudes sobre la composició mineralògica varen ser interpretades a partir del programa informàtic X'Pert Highscore Plus.

## EL TERME PÀTINA

El terme "pàtina" disposa d'un ampli ventall de definicions i és un dels conceptes més controvertits en el camp de la conservació-restauració de béns culturals. "Pàtina" es pot definir com "tota empremta deixada pels materials amb legitimitat històrica al llarg dels temps"<sup>6</sup> o bé, com "una capa o pel·lícula superficial de poc gruix (inferior a un mil·límetre) formada sobre la roca per diverses causes",<sup>7</sup> o també com "un estrat que es forma en l'exterior del material petri, al llarg del temps, amb una composició química i unes propietats físiques diferents del material subjacent, procés que s'inicia des del moment de l'extracció de la pedrera i la seva talla per a la posada en obra, fenomen conegut en diversos tractaments antics",<sup>8</sup> entre d'altres definicions. Frequentment, el terme pàtina tendeix a confondre's amb la "crosta", que es defineix com "una làmina compacta de material situada en la part externa de la roca, producte d'una transformació superficial, i on la seva naturalesa químico-mineralògica i les seves característiques físiques són parcialment o totalment diferents de les del substrat petri sobre el que s'assenten i al que poden afectar en diferents graus depenent del grau de penetració en la roca".<sup>9</sup>

Les pàtines són molt diverses en funció del seu origen i es poden trobar en tot tipus de materials escultòrics. Les més característiques són les pàtines "cromàtiques" (modificacions naturals de la superfície no relacionades amb els fenòmens de degradació, on es percep una variació del color), les pàtines "naturals" (les adquireixen les roques de forma espontània amb el pas del temps) i, finalment, les pàtines "artificials" (aplicacions de forma intencionada d'un patinat o policromia) dintre de les quals s'engloben també les de brutícia i les biogèniques o biològiques.<sup>10</sup>

Les alteracions cromàtiques es manifesten mitjançant una variació del color i del llustre de la pedra. Com a

<sup>6</sup> Vegeu CALVO, A. *Conservación y restauración. Materiales, técnicas y procedimientos de la A a la Z*. Barcelona: Ediciones del Serbal, 1997.

<sup>7</sup> Vegeu CEBRIÁN, E. "Métodos químicos de limpieza y restauración de la piedra". A: AGUILAR, J. (Ed.). *Caracterización y restauración de materiales pétreos en arquitectura, escultura y arqueología. Legislación y criterios técnicos e histórico-artísticos en restauración de materiales pétreos*. Tomo II. Zaragoza: Universidad de Zaragoza-Fundación Uncastillo, 2002.

<sup>8</sup> Vegeu DOMASLOWSKI, W. *La conservation préventive de la Pierre*. París: Unesco, 1982.

<sup>9</sup> Vegeu CEBRIÁN, E. "Métodos químicos...".

<sup>10</sup> Vegeu ARTIGAU, M. *Dossier Formes d'alteració. Material petri*. Escola Superior de Conservació i Restauració de Béns Culturals de Catalunya (ESCRBCC). Inèdit, 2001.

TAULA 1.

Relació de les mostres de les pàtines ocre-vermelles.

		MOSTRES		L.PRIMES	SEM		FLUORESC.	CATODO.	DRX
		FRAGMENT	POLS		B.B	A.B			
P.1	PO-20		X						
	PO-21		X						
P.2	PO-22		X						
	PO-23		X						
P.3	PO-24	X				X			
	PO-25	X							
	PO-26		X						
P.4	PO-27		X						
	PO-28		X						
P.5	PO-29		X						
	PO-30		X						
	PO-31		X						
P.6	PO-32		X						
	PO-33	X							
P.7	PO-34	X		X	X		X	X	
	PO-35		X						
	PO-36		X						
	PO-37		X						
	PO-38	X							
	PO-39	X							
	PO-40	X							
	PO-13 <sup>1</sup>	X							
	005 <sup>1</sup>	X						X	X
	P.8	PO-41	X		X			X	X
PO-42		X							
P.9	PO-44		X						
	PO-46	X							
	PO-10 <sup>1</sup>	X							
	PO-45		X						
P.10	PO-47		X						
	PO-48		X						X
	PO-49	X							X
	PO-49b	X							X
	PO-57	X		X	X		X	X	
	PO-9 <sup>1</sup>	X							
P.11	PO-50		X						X
P.12	PO-53					X			
P.13	No mostres								
P.14	PO-54	X							
P.15	PO-55		X						
P.16	PO-51		X						
	004 <sup>1</sup>	X		X	X			X	X

SEM (B.B,A.B): microscòpia electrònica de rastreig en baix

buit sense recobriments de carboni i en alt buit amb recobriments de carboni.

Fluoresc.: microscòpia òptica de fluorescència.

Catodo: microscòpia òptica de catodoluminescència.

DRX: difracció de raigs-X.

<sup>1</sup>Mostreig inicial (setembre 2009).

(Autora: Montserrat Artigau).

resultat del procés s'obtenen els productes resultants: "constructius" (afavoreixen el creixement d'una pàtina i crosta superficial a sobre del material petri) o "destructius" (produeixen una disgregació i/o dissolució de la superfície del material).

En el procés de conservació-restauració de les pàtines, la neteja és una etapa essencial ja que consisteix en l'eliminació de tota empremta que pugui causar un deteriorament en el material petri. Per tant, la neteja és un tractament conservatiu que millora les condicions del material i, a la vegada, elimina les substàncies presents en la superfície. En la neteja del material alabastrí s'apliquen dos tipus de mètodes: mètodes de neteja físics (manual i mecànica) i mètodes de neteja químics (dissolvents, agents quelants en suspensió en un gel i resines d'intercanvi iònic).

### EL SUBSTRAT D'ALABASTRE DEL RETAULE

L'alabastre, que és una roca blanca de guix microcristal·lí molt pura, és l'element petri essencial i dominant en el retaule de l'altar major de Santa Maria de Poblet. Els resultats sobre la composició isotòpica de l'alabastre emprat en l'elaboració del retaule de l'altar major de Santa Maria de Poblet són molt homogenis i presenten valors entre +15.8‰ i +15.9‰ d'oxigen, i entre +15.0‰ i +15.6‰ de sofre, la qual cosa suggeriria que totes les mostres procedeixen d'una mateixa unitat (o conjunt d'unitats

afins) geològica, és a dir, que totes elles tenen un origen comú. És probable que aquest alabastre procedeixi d'alguna de les antigues zones extractives de guix (més impur) i alabastre (guix pur) de les unitats evaporítiques que afloren a la zona compresa entre La Guàrdia dels Prats i Sarraí;<sup>11</sup> aquests alabastres s'han anomenat històricament "alabastres de Sarraí".<sup>12</sup> M. Ortí realitzà un treball exhaustiu de les diverses unitats evaporítiques presents en aquest sector de la Conca de Barberà (Tarragona), del qual es dedueix una gran complexitat estratigràfica i, contràriament, una gran similitud

<sup>11</sup> Vegeu PLAYÀ, E.; ARTIGAU, M.; TAULER, E. "Caracterització...", p. 85-95.

<sup>12</sup> Vegeu ORTÍ, M. "El alabastro en la edad media y la edad moderna. El caso de Sarraí (Tarragona)". *De Re Metallica* (Vigo), 5 (2005), p. 45-61.

petrològica entre les diferents capes de guix. Per tant, no és possible atribuir amb exactitud la localització de les pedreres originals a partir de l'estudi de la caracterització petrològica i geoquímica del substrat petri del retaule.

L'origen i la qualitat de l'alabastre emprat en la construcció del retaule de l'altar major de Poblet va ésser un dels principals motius pel qual es varen enfrontar l'escultor del retaule Damià Forment i la comunitat del monestir de Poblet.<sup>13</sup> Segons la comunitat del monestir, l'alabastre havia de procedir de les pedreres d'Aragó i no pas de les pedreres de Sarra, on es creia que l'alabastre era més guixenc i es desfeia amb certa facilitat. Però l'alabastre de Sarra no tenia una qualitat inferior que el procedent de les pedreres d'Aragó. No obstant això, s'ha arribat a la conclusió que l'escultor Damià Forment no va saber seleccionar de forma correcta l'alabastre que s'empraria en el retaule. De forma aleatòria, va elegir les peces d'alabastre que presentaven més imperfeccions (vetes d'hidratació i impureses) que donaven un aspecte poc atractiu al material. Per aquest motiu, no es pot considerar que l'alabastre del retaule major de Poblet sigui de mala

qualitat, encara que apareguin certes imperfeccions, les quals no estarien relacionades amb la seva procedència, sinó amb l'elecció de les peces.<sup>14</sup>

## CARACTERITZACIÓ DE LES PÀTINES OCRE-VERMELLES

### LOCALITZACIÓ DE LES PÀTINES DEL RETAULE

El retaule de l'altar major de Santa Maria de Poblet està dividit en sis pisos diferents (òtic, tercer pis, segon pis, primer

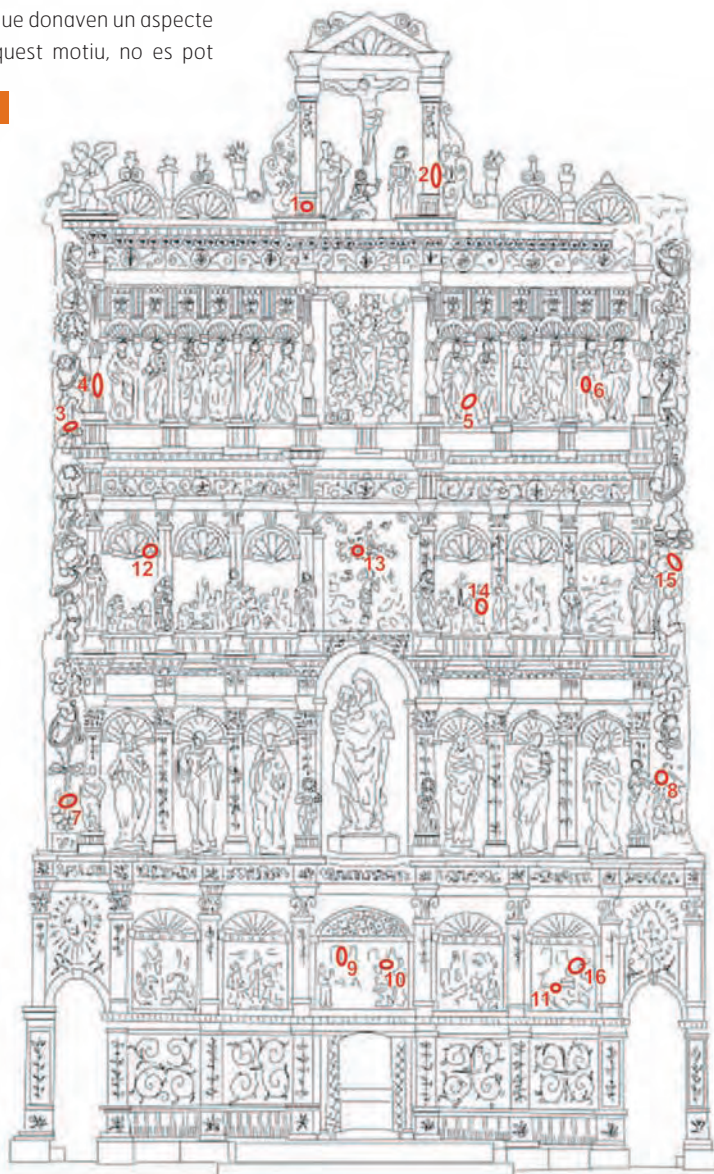
[1] Localització de les diferents pàtines d'oxidació i mostres en el retaule de l'altar major de Santa Maria de Poblet (Fotografia: Ortofotografia feta per Photoscan per a Lesena, Servei Integral al Patrimoni, en el marc del treball "Documentació, estudi i conservació-restauració del retaule de l'altar major de l'església del Reial Monestir de Santa Maria de Poblet", 2011. Pau Arroyo i Casals, i supervisat pel CRBMC; Esquema del retaule: Montserrat Artigau).

<sup>13</sup> Vegeu ORTÍ, M. "El alabastro en la edad media...", p. 45-61; CAMPS, J. "Sobre les mesures del retaule major de Santa Maria de Poblet", *Unicum*, (Barcelona), 9 (2011), p. 69-80.

<sup>14</sup> Vegeu ARTIGAU, M.; PLAYÀ, E. "L'alabastre de Sarra...", p. 73-84.



1



#### RELACIÓ MOSTRES - PÀTINES D'OXIDACIÓ

- Pàtina 1: PO-20, PO-21
- Pàtina 2: PO-22, PO-23
- Pàtina 3: PO-24, PO-25, PO-26
- Pàtina 4: PO-27, PO-28
- Pàtina 5: PO-29, PO-30, PO-31
- Pàtina 6: PO-32
- Pàtina 7: PO-33, PO-34, PO-35, PO-36, PO-37, PO-38, PO-39, PO-40, PO-13<sup>1</sup>, 005<sup>1</sup>
- Pàtina 8: PO-41
- Pàtina 9: PO-42, PO-44, PO-46, PO-10<sup>1</sup>
- Pàtina 10: PO-45, PO-47, PO-48, PO-49, PO-57, PO-9<sup>1</sup>
- Pàtina 11: PO-50
- Pàtina 12: PO-53
- Pàtina 13: sense mostres
- Pàtina 14: PO-54
- Pàtina 15: PO-55
- Pàtina 16: PO-51, 004<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Mostreig inicial (setembre 2009), Montserrat Artigau.

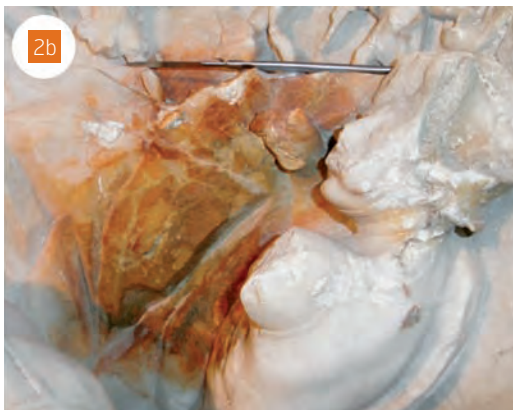
pis, predel·la i base), en cadascun dels quals, excepte en la base, s'observa la presència de les pàtines ocre-vermelles.

**1** Les pàtines de ferro presenten unes dimensions que oscil·len entre 2-10 cm de diàmetre, aproximadament. En general, es distribueixen de forma aleatòria, però les pàtines de majors dimensions es troben situades en la part baixa del retaule, concretament en la zona corresponent a la predel·la, mentre que en la part superior, en la zona corresponent a l'àtic, la seva presència és pràcticament nul·la o bé són de dimensions més reduïdes.

#### MINERALOGIA I MICROESTRUCTURA DE LES PÀTINES

Les patines adquireixen una coloració més intensa cap a l'interior (vermellosa-marronosa), mentre que a les zones més externes la tonalitat ocre és la predominant, fins a difuminar-se en el suport d'alabastre. **2a** i **2b**

[2] Aspecte visual de les pàtines d'oxidació: a) Pàtina d'oxidació 7 situada al primer pis. Escala: llapis, 14.5 cm., b) Pàtina d'oxidació 12 situada a la predel·la. Escala: bisturí, 18 cm (Fotografies: Elisabet Playà).



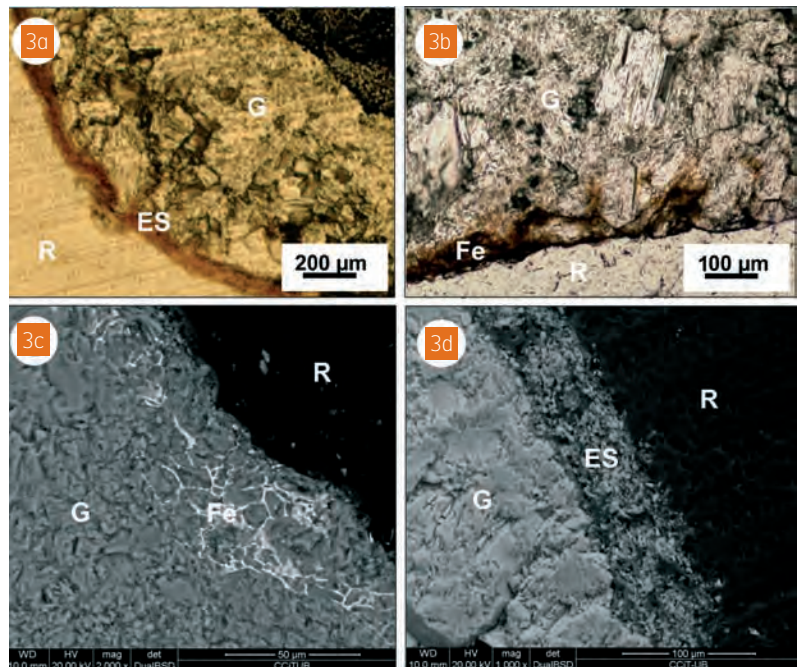
Aquesta pigmentació es pot interpretar gràcies a la presència d'una important quantitat de ferro, que s'accentua cap al centre i, pràcticament, es fa identificable a les vores més externes de la mateixa pàtina. Així, el ferro que constitueix l'element principal de les pàtines i, a la vegada, dóna aquesta coloració

tan característica, es detecta en quantitats abundants a partir dels espectres d'emissió de raigs-X (microscòpia electrònica de rastreig), però no s'ha pogut determinar la seva naturalesa en les difraccions de raigs-X, atès que es presenta en quantitats molt petites. S'interpreta que, o bé es pot trobar en forma de nanopartícules d'òxids i/o hidròxids de ferro, o potser com a fases amorfes.

El gruix de les pàtines és de poques micres (25-80 µm, però poden arribar a 300 µm). Són pàtines molt poc penetrants (penetren poc a través dels contactes entre cristalls del substrat d'alabastre). Són, per tant, pàtines molt superficials i poc destructives, tot i el seu intens color. **3a** i **3b**

Les pàtines tenen dues microfàcies ben diferenciades, que es poden presentar individualitzades, estratificades o barrejades. Aquestes són:

**a) Estrat inferior:** La base de la pàtina està constituïda per una fina pel·lícula de 2 µm-4 µm de gruix que envolta i, posteriorment, penetra pels diferents contactes existents entre els cristalls de guix a través del substrat d'alabastre; **3b** i **3c**. En determinades mostres, la pàtina de ferro va adquirint posició i altera de forma progressiva els cristalls de guix, de tal manera que es forma una cavitat



[3] Imatges de microscòpia òptica de llum transmesa en nícols paral·lels (A i B) i electrònica amb electrons retrodifosos (C i D) de les pàtines d'oxidació. A) Matriu alabastrina i estrat superior format per una aglutinació de cristalls de guix (imatge de microscòpia). B) Matriu alabastrina i estrat inferior format per una fina pel·lícula de compostos de ferro. C) Estrat inferior format per una fina pel·lícula de compostos de ferro. D) Estrat superior format per una aglutinació de cristalls de guix i celestina. G: matriu alabastrina; ES: estrat superior; R: resina; Fe: pel·lícula de compostos de ferro; R: resina (Fotografies: Elisabet Playà i Meritxell Beltran).

en què la pàtina s'assenta i es fa cada cop més gruixuda (30–80 µm fins a 300 µm). Aquesta pel·lícula de ferro es pot presentar com a estrat únic a les pàtines o estar associada a l'estrat superior (descriu a continuació). Es tracta d'un procés totalment destructiu que produeix la disgregació i/o dissolució de la superfície del material, tot generant petites cavitats. La seva mineralogia no s'ha pogut determinar amb exactitud, tal i com ja s'ha comentat anteriorment.

**b) Estrat superior:** La part superior de la pàtina es presenta com una aglutinació de petits cristalls (<1–10 µm), els quals poden ser principalment de guix, carbonat (calcita), quars, celestina, baritina, pirita i oxalats (weddelita principalment, i wel·lita), argiles i jarosita; també s'ha identificat portlandita. <sup>3d</sup>

Així, les pàtines estudiades poden o no presentar els dos estrats definits anteriorment, en funció del seu grau de desenvolupament; les més incipients només mostren la pel·lícula de components de ferro envoltant els cristalls del substrat d'alabastre i les més desenvolupades, ja han generat la pàtina acrecional superior.

#### PIRITES EN EL SUBSTRAT D'ALABASTRE

Cal fer esment a la presència d'un mineral que té tendència a associar-se amb el guix i, en aquest cas concret, forma part del material encaixant que acompanya el substrat d'alabastre que constitueix el retaule de l'altar major de Santa Maria de Poblet: la pirita. <sup>4a</sup> La pirita és un sulfur de ferro (FeS<sub>2</sub>) àmpliament present en l'alabastre del retaule (i molt comú en els

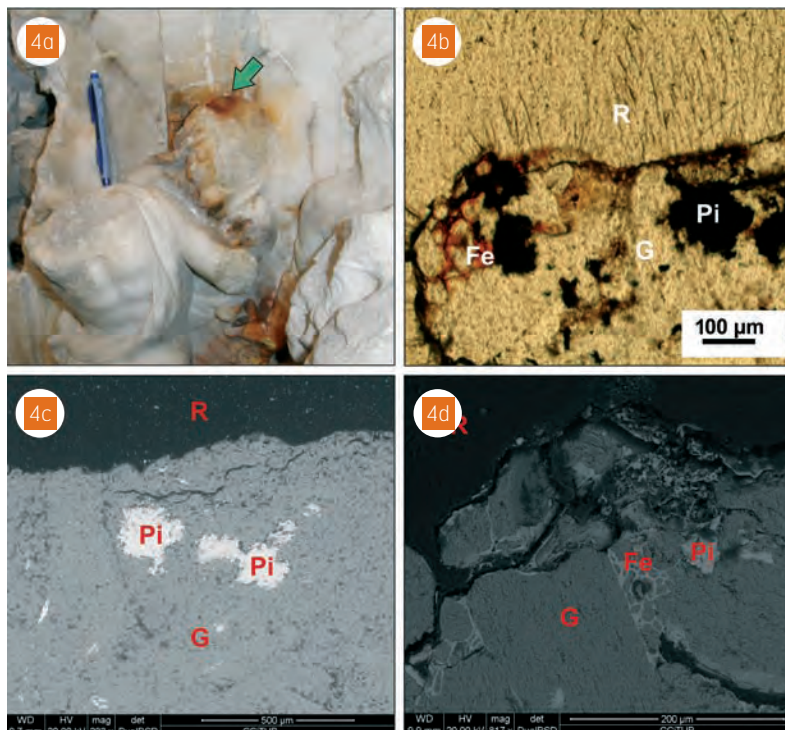
guixos en general); es presenta en el retaule amb una morfologia irregular i unes dimensions suficientment grans per identificar-la amb facilitat fins i tot a visu (10 µm–3 mm). <sup>4b</sup> i <sup>4c</sup> Les pirites segueixen una distribució totalment aleatòria dintre del retaule i es poden trobar per tot arreu en major o menor quantitat en funció de la zona (en les pàtines 3, 7, 10, 11, 12 i 15). Normalment, les de grans dimensions (2–3 mm) tendeixen a localitzar-se en la part superior (tercer pis i àtic); en canvi, les pàtines d'oxidació més desenvolupades es troben situades en la part més baixa (predel·la), com ja s'havia esmentat. Per tant, no existeix una clara relació entre la distribució de les pirites respecte les pàtines de ferro dins del retaule de l'altar major de Santa Maria de Poblet, però sí que es pot afirmar que les pirites, de dimensions grans o petites, són abundants i presents en tot el retaule.

#### FORMACIÓ DE LES PÀTINES OCRE-VERMELLES

##### PROCESSOS DE FORMACIÓ

La coloració que caracteritza les pàtines és causada per la presència d'una important quantitat de ferro, que possiblement es troba en forma d'òxid i/o hidròxids de ferro, o bé com a fases amorfes. Es descarta que sigui causada per la presència d'oxalats (que poden donar tonalitats ocre-taronja-vermelles), ja que són molt escassos i tan sols s'han pogut identificar puntualment. La formació de les pàtines sobre el substrat d'alabastre no és causada pel procés d'oxidació d'un cos extern (clau o tutor de ferro), fet que s'ha pogut corroborar amb exactitud a partir de:

[4] La pirita en les pàtines ocre-vermelles. A) Pàtina d'oxidació IO situada a la predel·la; les fletxes mostren les partícules de pirita (llapis, 14,5 cm). B) Matriu alabastrina juntament amb pirites de morfologia irregular de les quals parteix la pel·lícula de Fe que envolta els cristalls de guix (imatge microscòpia òptica de llum transmesa, nícols paral·lels). C) Matriu alabastrina juntament amb pirites de morfologia irregular (imatge de microscòpia electrònica de rastreig amb electrons secundaris). G: matriu alabastrina, Fe: pel·lícula de compostos de ferro, Pi: pirita, R: resina (Fotografies: Elisabet Playà i Meritxell Beltran).





- a) l'observació detallada de la superfície del retaule en què no es presenten cossos metàl·lics sobresortint;
- b) la disposició superficial, poc penetrant de les pàtines (fins a <math>500\ \mu\text{m}</math>);
- c) la seva formació des de la part exterior i cap a l'interior;
- d) l'estudi de susceptibilitat magnètica, el qual tenia com a finalitat localitzar els possibles elements metàl·lics superficials i minerals o reompliments amb característiques ferromagnètiques,<sup>15</sup> i en el qual s'ha descartat la presència d'objectes metàl·lics interiors i/o exteriors propers a les zones amb pàtines. Per tant, són pàtines superficials que tan sols afecten el substrat d'alabastre sense penetrar a gran profunditat.

Un altre possible origen del ferro és la pirita; tot i que l'origen de la pirita està en realitat relacionat amb processos sedimentaris i/o diagenètics propis de la formació geològica del guix (és per tant anterior a la formació de les pàtines), la seva presència i distribució en les pàtines sí que en pot condicionar la seva formació i evolució. Les pirites observades en la superfície de l'alabastre del retaule estan generalment alterades; s'han detectat pirites en la majoria de pàtines i, en diversos casos, constitueixen la zona de la pàtina amb tonalitats més vermelloses (més riques en ferro). En ambients oxidants i amb presència d'aigua, la pirita és molt inestable i tendeix a oxidar-se i alliberar protons (crea un ambient àcid). És a dir, només cal l'afectació de la superfície de l'alabastre per l'aigua per tal que aquestes partícules minerals iniciïn el procés d'alteració per oxidació i l'alliberament del ferro. En definitiva, s'interpreta que el ferro disponible per a la formació inicial de les pel·lícules de ferro va ser aportat amb aquest procés.

Com a productes d'aquesta reacció d'oxidació s'originen un seguit de precipitats, els quals són combinacions del ferro amb l'oxigen (limonita, hematites, goethita entre d'altres) o amb el sofre (jarosita), de cristal·linitat variable. Al llarg del procés, els sulfats poden evolucionar a ferrihidrita o goethita, compost estable en la major part dels espais naturals, mitjançant el procés de deshidratació i oxidació. La jarosita únicament és estable en ambients amb pH molt àcid (menor a 4) i valors de Eh molt elevats,<sup>16</sup> amb altes concentracions de sulfats.<sup>17</sup> En alguna de les mostres estudiades, concretament en la mostra PO-48 (pàtina 10, predel·la), s'ha observat la seva presència; la precipitació de la jarosita (sulfat) està estretament relacionada amb el procés de postlixiviació dels sulfats, és a dir, que està en concordança amb el producte final i confirma el caràcter àcid de les reaccions que s'han produït. Durant el procés d'oxidació de la pirita, hi ha una contínua producció d'àcid que varia la seva quantitat en funció del grau d'oxidació del ferro, el mecanisme d'oxidació i els productes resultants de la reacció.<sup>18</sup> Per aquest motiu, com que en aquest procés hi domina un ambient àcid, els carbonats i alguns aluminosilicats

(argiles) presents al substrat (l'alabastre acostuma a contenir carbonats i argiles, entre altres components, a part del guix) poden ser atacats amb més o menys facilitat i es poden alliberar ions carbonat i alumini, juntament amb altres cations.<sup>19</sup> Aquest fet podria explicar la presència generalitzada de partícules de carbonat dintre de les pàtines (estrat superior), que podrien correspondre a partícules neofornades després de la formació de les pàtines d'oxidació (precipitació dels carbonats dissolts quan l'ambient disminueix el seu caràcter àcid).

En definitiva, es posa de manifest que la pirita present en el substrat d'alabastre ha estat alterada. És indubtable el fet que aquest procés requereix la presència d'una certa quantitat d'aigua. Aquest és, per tant, l'origen del ferro i de la pel·lícula de ferro inicial que constitueix l'estrat inferior de les pàtines ocre-vermelles estudiades. L'estrat superior, en canvi, està format per una aglutinació de cristalls de diverses mineralogies.

L'origen de les fases minerals que formen part de l'estrat superior de les pàtines és més divers i complex, incloent:

**a) Productes residuals de l'alabastre:** En les mostres recollides s'han pogut identificat diversos productes residuals obtinguts a partir de la destrucció i/o desintegració de l'alabastre del retaule. Aquests són el guix, el quars, la calcita, la celestina, la baritina i la pirita que es troben en diferents proporcions i dimensions dintre de la matriu alabastrina. Durant la formació de la pàtina d'oxidació, algunes partícules (sobretot el guix) han quedat englobades al seu interior, reduït en la majoria dels casos la seva mida cristal·lina (possiblement per dissolució parcial, reemplaçament, fracturació, etc.); aquestes partícules residuals formen part de l'estrat superior de la pàtina. Tot i això, hi ha algunes fases minerals com el guix, el quars i també la calcita, que és possible que procedeixin d'altres processos totalment diferents.

**b) Partícules atmosfèriques:** Algunes de les fases minerals (calcita i quars) distingides en el substrat alabastrí podrien procedir de la pols. Són partícules atmosfèriques que viatgen a través del medi en forma de pols i que poden haver quedat retingudes i/o incrustades en la superfície del retaule. Les incrustacions de partícules d'argiles, quars i/o calcita, ja han estat descrites en altres pàtines d'alteració.<sup>20</sup>

**c) Productes d'alteració del morter:** El retaule de l'altar major de Santa Maria de Poblet ha sofert diversos processos de reintegració. En aquestes

<sup>15</sup> Vegeu GUINEA, A.; PLAYÀ, E.: *Susceptibilitat magnètica a Poblet*. Universitat de Barcelona, p. 1-6. Informe inèdit. 2010.

<sup>16</sup> Eh: potencial redox. El potencial redox és una mesura de l'activitat dels electrons. Està relacionat amb el pH i amb el contingut d'oxigen. És anàleg al pH ja que el pH mesura l'activitat dels protons i el potencial redox mesura la dels electrons. <http://www.cienciaybiologia.com/ecologia/redox.htm> [Consulta juny 2012].

<sup>17</sup> Vegeu URRUTIA, M.; GRAÑA, J.; GARCIA-RODEJA, R.; MACIAS, F.: "Procesos de oxidación de pirita en medios superficiales: potencial acidificante e interés para la recuperación de suelos de mina". *Cuaderno do Laboratorio Xeolóxico de Laxe* (A Coruña), (1987) núm. 11, p. 131-145.

<sup>18</sup> Vegeu VAN BREEMEN, N.: "Soil Forming Processes in Acid Sulphate Soils". A *Acid Sulphate Soil, Proceedings International Symposium, Volum I* (Wageningen, The Netherlands), H. Dost, 1973; BRUYNSTEYN, A., HACKL, R. P.: "Evaluation of Acid Production Potential of Mining Waste Materials", *Minerals and the Environment*, vol. 4, núm. 1, març 1982.

<sup>19</sup> Vegeu TAYLOR, K. G.; KONHAUSER, K. O.: "Iron in Earth Surface Systems". *Elements: an International Magazine of Mineralogy, Geochemistry, and Petrology* (Québec), (2011) núm. 7, p. 89-93.

<sup>20</sup> Vegeu GARCIA-VALLES, M.; KRUMBEIN, W. E.; URZ, C.; VENDRELL-SAZ, M.: "Coloured coatings of monument surfaces: a result of biomineralisation controlled by global climate change or antropogenic. The case of Tarragona cathedral". *Applied Geochemistry*, (1997) núm. 12: p. 255-266 i AULINAS, M., GARCIA-VALLES, M., GIMENO, D., FERNÁNDEZ-TURIEL, J.L., RUGGIERI, F., PUGÈS, M.: *Weathering patinas on the medieval (s. XIV) stained glass windows of the Pedrables Monastery* (Barcelona, Spain). *Environ Sci Pollut Res.*, 16, 2009. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19104870> [Consulta juny 2012].

intervencions, moltes de les escultures d'alabastre varen ser subjectades amb morter (mescla de ciment, aigua i àrids). En algunes anàlisis realitzades amb DRX s'ha pogut identificar la presència de portlandita ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), la qual procedeix de la hidratació de l'òxid de calci present en el ciment. Per tant, la seva presència no està relacionada amb el procés de formació de les pàtines d'oxidació estudiades.

**d) Productes inorgànics:** En determinades mostres s'ha identificat la presència d'oxalats, concretament de weddelita, que es tracta d'un oxalat de calci dihidratat i, en menor abundància, de wel-lita (oxalat de calci monohidratat). Generalment, la presència d'oxalats està estretament relacionada amb l'activitat biològica,<sup>21</sup> però també es pot atribuir a la descomposició de la matèria orgànica.<sup>22</sup> Altres autors postulen que el desenvolupament dels oxalats sobre la superfície de la roca està associat amb el procés d'oxidació de les diverses substàncies orgàniques (resines, etc.) incorporades durant els diferents processos de restauració del material.<sup>23</sup> No ha estat possible atribuir un origen clarament orgànic als oxalats precipitats en les mostres estudiades, ja que no s'ha constatat la presència clara d'estructures orgàniques associades (biopitting, presència de colònies orgàniques directament associades, etc.) ni d'altres compostos clarament orgànics (nitrats).

Per tant, la generació d'aquestes pàtines ocre-vermelles s'interpreta com un procés destructiu-constructiu. És a dir, la formació de l'estrat inferior de les pàtines, que és el que conté els components de ferro i el que aporta el color característic, està conduïda per l'oxidació superficial de les pirites del substrat d'alabastre; la formació d'aquesta pel·lícula de ferro implica un procés poc destructiu i penetrant, per la penetració del ferro a través dels contactes dels cristalls de guix del substrat d'alabastre. Al contrari, l'estrat superior, format per un aglutinat de cristalls de composicions diverses, es comprèn com un procés mixt constructiu-destructiu, que depèn de l'origen dels components presents.

#### PERÍODE DE FORMACIÓ DE LES PÀTINES

El seu període de formació és incert, tot i que atenen a la necessitat d'aigua per desencadenar el procés, és possible que apareguessin en el període de temps comprès entre 1835, corresponent a l'exclaustració del monestir, i finals del segle XIX a inicis del segle XX, quan es té constància de les primeres fotografies del retaule.<sup>24</sup> Després de l'exclaustració, el monestir de Santa Maria de Poblet va ser deshabitat, abandonat i espoliat; fou un lloc destinat a l'allotjament del bestiar un cop arribada la nit i també els dies de pluja. Al seu interior hi devia regnar un ambient força humit però, a la vegada, relativament temperat per l'escalfor alliberada

pel propi bestiar. A més, en determinades èpoques de l'any (tardor-primavera) es devien produir intenses pluges, on l'aigua s'anava infiltrant a través de les parets, del sostre i del subsòl cap a l'interior del monestir, ja molt deteriorat. Probablement, les pàtines d'oxidació varen començar a aparèixer llavors, ja que les condicions òptimes per a la seva formació es van incrementar considerablement. Amb el pas dels anys, es va començar a obtenir informació històrica sobre el monestir i el retaule que el constitueix, i també varen aparèixer les primeres fotografies (1894) en les quals es fa difícil la identificació de les diferents pàtines d'oxidació. No obstant, en fotografies més recents (1908) ja s'observa amb major claredat la seva presència.

#### L'ORIGEN DE L'AIGUA

Es certifica que les pàtines més desenvolupades es situen a la part inferior (predel·la), trobant-se en menor concentració respecte la part superior (àtic) del retaule, mentre que la presència de pirites s'ha certificat en la totalitat del retaule. En aquesta part superior (àtic), només s'han detectat problemes de limonització de l'alabastre<sup>25</sup> o de dissolució i microcarstificació causats per escolament d'aigua en el marge superior esquerre d'aquesta mateixa part.<sup>26</sup> Una possible causa d'aquesta distribució diferencial de les pàtines podria estar relacionada amb:

a) Les diverses filtracions d'aigua procedents de la pluja des de la coberta de l'església en el moment en què es va produir l'abandonament del monestir amb l'exclaustració (1835). Tot i això, seria d'esperar que es provoqués una distribució preferencial de les pàtines a la meitat superior. A molt suposar, és possible que hi hagués la presència d'un forat, de dimensions suficientment grans, situat a la teulada del monestir, des d'on la pluja tingués un impacte més important en la part inferior respecte de la superior, és a dir, que el forat estigués lleugerament desplaçat cap endavant i, llavors, l'impacte de la pluja seria oblic al retaule i no pas vertical, podent incidir en la seva part baixa.

b) La humitat ambiental existent amb el pas dels anys. Aquesta es podria tractar d'una humitat ambiental humana i/o animal, en èpoques en què residia el bestiar en el monestir, no obstant, no s'han trobat indicis de nitrats en les pàtines que suportin aquesta hipòtesis, si bé la presència d'oxalats potser podria presentar un origen orgànic.

c) L'existència de cossos freds propers a les zones del retaule on hi dominen les pàtines (claus, tutors metàl·lics, etc.), que van poder actuar com a nuclis de condensació d'humitat (produïda per l'activitat humana i/o animal). Aquest fet és indemostrable a partir dels coneixements històrics de què es disposa.

<sup>21</sup> Vegeu GARCIA-VALLES, M.; KRUMBEIN, W. E.; URZ, C.; VENDRELL-SAZ, M. "Coloured coatings of monument...", *Applied Geochemistry*, (1997) núm. 12: p. 255-266 i AULINAS, M., GARCIA-VALLES, M., GIMENO, D., FERNÁNDEZ-TURIEL, J.L., RUGGIERI, F., PUGÈS, M. *Weathering patinas...* *Environ Sci Pollut Res.*, 16, 2009. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19104870> [Consulta juny 2012].

<sup>22</sup> Vegeu CHIARI, G.; GABRIELLI, N.; TORRACA, G. "Calcium oxalates on mural paintings in internal exposure. Sistine Chapel and others". *A II International Symposium The Oxalate Films in The Conservation Of Work Of Art*, Milà: Centro CNR Bozza, 1996.

<sup>23</sup> Vegeu CARIATI, F.; RAMPAZZI, R.; TONIOLO, L.; POZZI, A. "Calcium oxalate films on stone surfaces: experimental assessment of the chemical formation". *Studies in Conservation*, 45, (2000), (Londres), p. 180-188.

<sup>24</sup> Vegeu ARTIGAU, M.; PLAYÀ, E. "L'alabastre de Sarral...", p. 73-84.

<sup>25</sup> ARTIGAU, M. com. pers., 2011.

<sup>26</sup> PLAYÀ, E. com. pers., 2011.

d) Amb menys probabilitat, existeix la possibilitat que es produís un període d'inundació durant els mesos de primavera-tardor, època en què tendeixen a intensificar-se les precipitacions en el clima mediterrani. Aquest fet hauria pogut produir la inundació total amb una exposició més elevada en la part baixa del retaule, si bé tampoc se'n té constància històrica.

e) El procés d'ascensió capil·lar temporal des del sòl també es planteja com a possible origen de la humitat que ha induït la bioxidació de les pirites. És possible que en el passat es donés aquest fenomen en el subsòl del monestir, però amb el pas del anys, el terra va ser tapat per noves lloses que van eliminar la capil·laritat existent. Els fenòmens d'ascensió capil·lar solen produir efectes molt dramàtics en els substrats d'alabastre (dissolucions i disgregacions),<sup>27</sup> els quals no són apreciables en el retaule, però si es planteja un procés temporal de poca continuïtat, aquesta dissolució del guix pot no haver-se fet efectiva encara que, per contra, pot haver procurat la quantitat d'aigua necessària per a la catalització del procés de bioxidació de les pirites.<sup>28</sup> Sembla ser que, amb moltes reserves, aquest pot ser el principal aportador d'aigua necessària per a la catalització del procés de formació de les pàtines presents en el retaule estudiat. Tanmateix, l'aportació d'aigua que va iniciar el procés de formació de les pàtines ja no sembla vigent actualment, de manera que les pàtines no han de continuar evolucionant sinó que estan estabilitzades.

#### PROPOSTA DE CONSERVACIÓ DE LES PÀTINES

S'ha considerat que el millor protocol de conservació és no eliminar les pàtines presents en el retaule del monestir de Santa Maria de Poblet, ja que formen part del procés d'envelliment natural de l'alabastre i, fins al moment, no han provocat una degradació important del suport. Així mateix, l'eliminació comportaria l'aplicació de diversos mètodes de neteja químics amb elevada agressivitat, la qual cosa podria malmetre la superfície del material petri. En aquest procés, el més adient és incidir sobre el factor d'alteració que afavoreix el desenvolupament de les pàtines, per tal que finalment no arribin a malmetre l'alabastre, produint degradacions tals com la disgregació i/o descohesió del suport. És a dir, convé mantenir el recinte amb el menor grau d'humitat possible per tal que el procés de formació de les pàtines resti aturat (sense disponibilitat d'aigua, no s'aporta més ferro per a la degradació de les pirites).

#### CONCLUSIONS

- Les pàtines estudiades, que es caracteritzen per presentar una coloració ocre-vermella, presenten un diàmetre que oscil·la entre 2 i 10 cm, de morfologia irregular i distribució preferencial a la part baixa del

substrat d'alabastre del retaule de l'altar major de Santa Maria de Poblet.

- Es distingeixen dos estrats en les pàtines d'oxidació:

**1) Estrat inferior:** format per una fina pel·lícula de 2-4 µm de guix que envolta i penetra pels contactes dels cristalls de guix del substrat d'alabastre del retaule, i que es forma per un procés destructiu que produeix la disgregació i/o dissolució de la superfície del material. Aquest estrat és el responsable de la coloració de les pàtines, que és causada per la presència d'una important quantitat de ferro.

**2) Estrat superior:** constituït per una aglutinació de petits cristalls (<1 µm-10 µm) de guix (principalment), carbonat (calcita), quars, celestina, baritina, pirita, oxalats (weddelita principalment i en menor quantitat, wel·lita), argiles i jarosita; també s'ha identificat portlandita.

- L'origen del ferro present en les diferents pàtines procedeix del procés d'oxidació de les pirites. Aquestes presenten una morfologia irregular i dimensions que oscil·len entre 10 µm i 30 mm; la pirita tendeix a oxidar-se i a alliberar protons en presència d'aigua i ambients oxidants. Com a productes d'aquesta oxidació s'originen una sèrie de precipitats, els quals són combinacions del ferro amb l'oxigen i/o amb el sofre (guix, jarosita). El guix, però, també pot provenir de cristalls no dissolts de l'alabastre.

En presència d'aquests ambients àcids, els carbonats són atacats; això explica la presència de partícules de carbonats dintre de les pàtines d'oxidació, corresponents a partícules residuals de l'encaixant de l'alabastre (no dissoltes) i/o neoformades, tot i que també poden correspondre a partícules adherides de pols atmosfèrica.

- A més del guix i els carbonats, altres productes residuals del substrat alabastrí han estat identificats en l'estrat superior de les pàtines: quars, calcita, celestina, baritina i pirita. El quars també pot provenir de partícules adherides de pols atmosfèrica.

- La presència de portlandita no està relacionada amb el procés de formació de les pàtines d'oxidació, ja que procedeix del morter emprat per subjectar les peces escultòriques, mentre que els oxalats són considerats productes inorgànics.

- Les filtracions d'aigua procedents de la pluja des de la coberta de l'església durant l'exclaustració, la humitat ambiental existent amb el pas dels anys o un procés temporalment curt d'ascensió capil·lar des del subsòl temporalment curt podrien ser les fonts de l'aigua necessària per iniciar el procés d'oxidació de les pirites i

<sup>27</sup> ARROYO, P. com. pers., 2011.

<sup>28</sup> Vegeu TAYLOR, K. G.; KONHAUSER, K. O. "Iron in Earth...", p. 89-93.

aportar el ferro necessari per a la generació de les pàtines ocre-vermelles estudiades. No existeixen evidències per proposar un origen concret.

- El període de formació de les pàtines ocre-vermelles és incerta, ja que no es disposa de suficient informació històrica per determinar amb exactitud la seva aparició. Tot i això, és possible que apareguessin en el període de temps comprès entre el 1835, corresponent a l'exclaustració del monestir, i finals del segle XIX-inicis del segle XX.

- La formació de les pàtines ocre-vermelles que afecten el retaule d'alabastre de l'altar major del monestir de Poblet correspon a un procés antic no vigent actualment. Per tant, es pot considerar que, si es conserven les condicions òptimes d'humitat ambiental, aquestes pàtines no progressaran en el seu desenvolupament ja que estan estabilitzades i no comprometen la conservació del retaule.

## AGRAÏMENTS

El present escrit forma part de la memòria presentada el 2011 per la autora, M. Beltran, com a Treball de Fi de Carrera (llicenciatura de Geologia, Universitat de Barcelona). Les proves analítiques han estat subvencionades pel Grup de recerca de Geologia Sedimentària de la Generalitat de Catalunya 2009 SGR1451, i pel projecte de recerca CGL2009-11096. Es volen fer constar els agraïments al Sr. Pau Arroyo per la seva ajuda en la interpretació definitiva dels possibles orígens de l'aparició de les pàtines i per totes les facilitats oferides durant el desenvolupament del present treball, i al Dr. Xavier Alcobé i Sr. David González, dels Serveis Científicotècnics de la Universitat de Barcelona, per la seva ajuda en el muntatge de les mostres i en la interpretació dels difractograms obtinguts en l'anàlisi de DRX. Així mateix, les autores volen agrair als Drs. Josep Girbal, José Luis Prada i Carles Ayora les seves suggerències i opinions.

# mpa.es

## Equipos y productos para limpieza y restauración

### mpablast

Especialistas en abrasivos y tecnología de limpieza por proyección a baja presión



### mpalaser

Los sistemas de limpieza láser más avanzados del mercado



MPA - Pol. Ind. Famades - C/ Energía 2 - 08940 Cornellà de Llobregat - BARCELONA (España) - Tel, 933778255 - Fax 933770573 - mpa@mpa.es