

Caracterització dels materials i de la tècnica pictòrica.

Aquest estudi està basat en l'aplicació de diverses tècniques analítiques i instrumentals, amb la finalitat de determinar la tècnica pictòrica i els materials de la pintura de la Mare de Déu del Carme intercedint a favor de les ànimes del purgatori. D'aquesta manera es pot establir la forma de treballar del pintor i deduir les seves característiques artístiques. També és important per tal de comprendre les alteracions observades, ajudar a determinar-ne les causes i decidir el procés de restauració i els paràmetres de conservació.

Rosa Rocabayera Viñas. Professora de Biologia, Física i Química de l'ESCRBCC. rocabay@pie.xtec.es

En aquest estudi s'han aplicat les tècniques d'anàlisi més idònies per a la determinació de la materialitat de l'obra. L'anàlisi del suport s'ha realitzat amb tècniques histològiques i microscòpiques aplicades a la identificació de fibres. La identificació dels pigments s'ha fet mitjançant microanàlisis amb el microscopi electrònic de rastreigacoblat a un sistema d'energia dispersiva de raigs X sobre estratigrafies obtingudes a partir de micromostres extretes de la pintura. La identificació dels aglutinants mitjançant cromatografia de gasosacoblada a espectroscòpia de masses. I per complementar ambdues tècniques s'ha utilitzat espectroscòpia d'infraroig en la identificació dels components de la capa pictòrica.

Les alteracions biològiques s'han estudiat a part i amb tècniques de cultiu i identificació òptimes per a l'estudi dels tipus de microorganismes, i així poder valorar l'abast del seu dany.

METODOLOGIA

Anàlisi del suport

L'objectiu d'aquesta anàlisi és la determinació del tipus de tela utilitzada per l'artista mitjançant l'estudi de les seves fibres. L'entramat d'una tela pot estar constituït per diferents tipus de fibres. Això pot donar-se a nivell de cadascun dels fils i en diferent quantitat, per tant serà necessari l'estudi d'aquests de forma individualitzada.

Primer s'estudia la tipologia del lligament de la tela i a continuació s'extreu un fil per determinar la trama i l'ordit. Cadascun d'aquests ha de ser estudiat per separat ja que tenen un origen que pot ser ben diferent i, per tant, s'estudien com a objectes únics.

Les fibres són la unitat més senzilla dels fils i, per això, haurem de procedir a partir d'aquests fins arribar a determinar l'origen de les fibres de la trama i de l'ordit. La identificació de les fibres es fa seguint un protocol, segons el qual les mostres de fils són tractades per recuperar la morfologia el màxim de natural possible i ser observades en una preparació microscòpica amb llum polaritzada i llum transmesa.

Anàlisi de policromies

OBSERVACIÓ MACROSCÒPICA

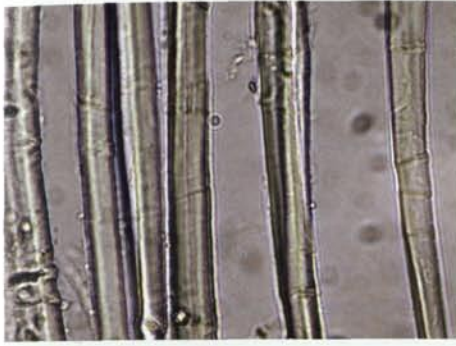
L'observació de l'estat de conservació de la peça i els exàmens globals amb llum UV i reflectografia d'IR es van realitzar al taller de restauració i van posar de manifest dues zones molt diferenciades que podien evidenciar l'aplicació de tècniques pictòriques diferents, coincidint amb la iconografia del quadre (cel i purgatori).

A més, en diferents zones s'observà una fenomenologia clara d'alteració per atac biològic. La manifestació era en la superfície pictòrica en forma de dues tipologies que feu pensar en dos tipus d'organisme com a causa de l'alteració.

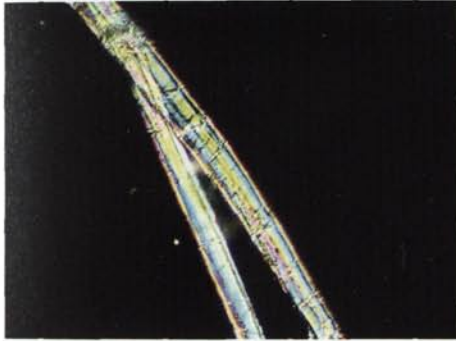
Es van extreure diverses mostres de zones representatives del quadre, etiquetades com a microestratigrafies de 01 a 14. Les



1. Localització de les mostres en el quadre (Fotografia: L. Balust).



2. Visió de la fibra de lli a microscòpia òptica 400x i llum polaritzada (Fotografia: R. Rocabayera).



mostres recollides van ser observades amb microscòpia òptica estereoscòpica per determinar les seves característiques com a fase prèvia a la embotició.

Les mostres embotides en reïna es tallaren i poliren per aconseguir l'estratigrafia i posar en evidència el seu gruix i textura. A continuació es van seleccionar aquelles més idònies per realitzar la làmina prima i estudiar-les amb microscopi òptic petrogràfic amb llum polaritzada. Amb aquest microscopi es va utilitzar llum transmesa i llum reflectida en camp fosc. Aquestes observacions permeten veure les propietats físiques dels components i pigments, així com millorar el contrast entre fases i capes de policromia, i poder establir la seva estructura i els possibles tipus de preparació.

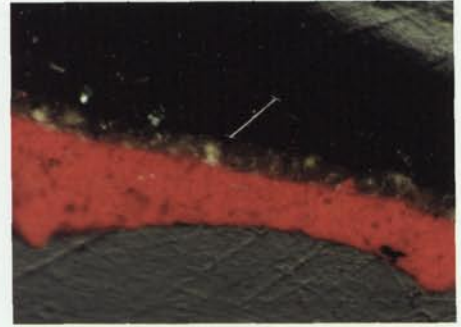
Posteriorment s'estudiaren les mostres més representatives amb microscòpia electrònica de rastreig (SEM), prèviament tractades amb una fina capa de carbó i seguint la següent fase de treball:

- En primer lloc es va fer una observació general de cada mostra, reconeixent la seva microestructura i capes, mitjançant una imatge tipus *back-scattered-BSEI*. Aquestes imatges són conegudes com a contrast de densitats, ja que els tons clars i brillants denoten alta densitat atòmica i els tons gris fosc els components de baixa densitat. El resultat permet observar millor el contrast general entre les diferents capes i els components, sobretot càrregues i pigments.

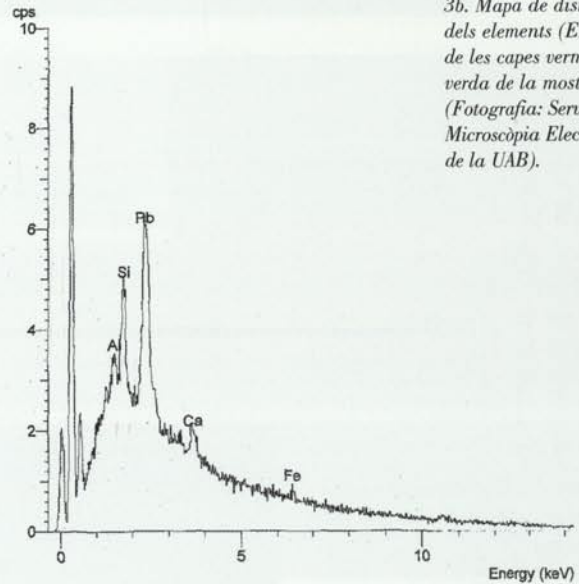
- Sobre la imatge anterior es van seleccionar diverses àrees significatives de cada capa i es realitzà, quan fou convenient, una imatge tipus *back-scattered-BSEI* d'alta resolució i una anàlisi per punts (multipuntual) per determinar la composició elemental de les partícules més representatives i freqüents. Aquesta microanàlisi es realitzà mitjançant espectrometria de raigs X tipus X-EDS.

- En algunes mostres es feu un mapa de composició *mapping de Z*, que indica la distribució de tipus semiquantitatiu de diversos

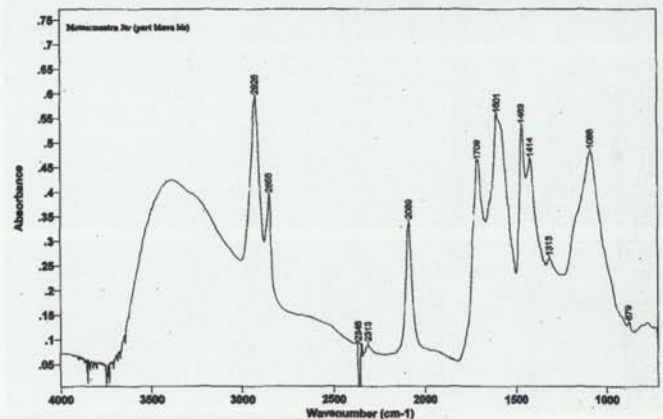
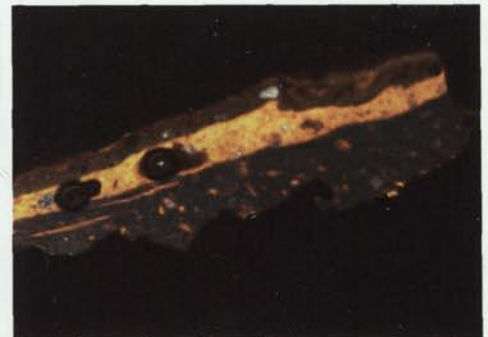
3a. Secció transversal de la mostra 03, visió amb camp fosc MOR.-500X (Fotografia: R. Rocabayera).



3b. Mapa de distribució dels elements (EDXA) de les capes vermella i verda de la mostra 03 (Fotografia: Servei de Microscòpia Electrònica de la UAB).

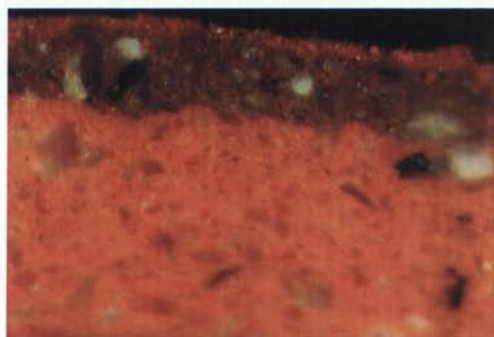
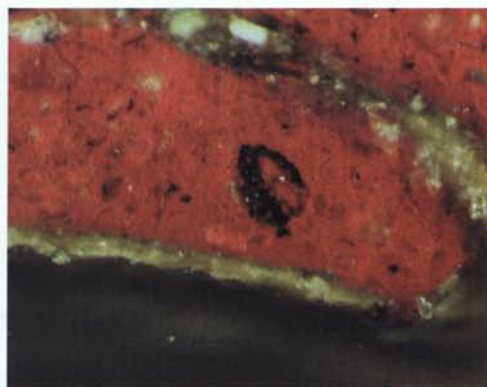


3c. Imatge per microscòpia làser confocal (Fotografia: Servei de Microscòpia Electrònica de la UAB).



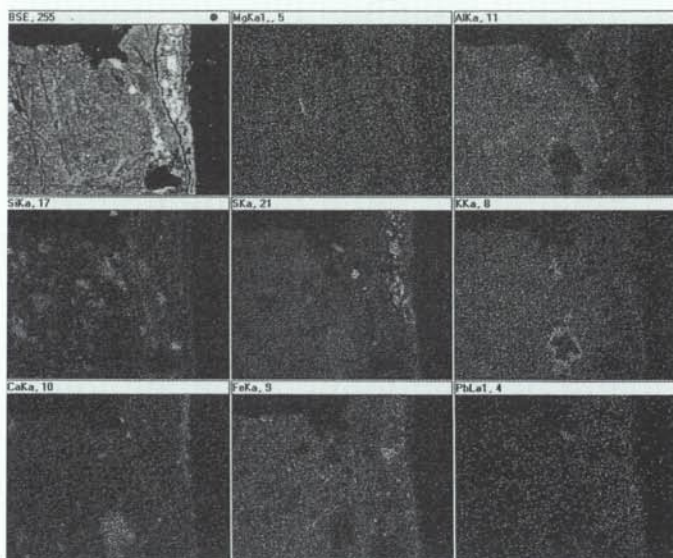
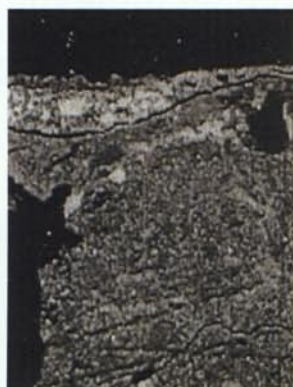
3d. Espectre d'infrarroig FTIR del pigment blau de Prússia de la mostra 03 (Fotografia: Servei Científico-tècnic de la UB).

4. Estratigrafia de la mostra 04, visió amb camp fosc MOR.-500X (Fotografia: R. Rocabayera).



5a. Estratigrafia de la mostra 07, visió amb camp fosc MOR.-500X (Fotografia: R. Rocabayera).

5b. Imatge de la mostra 07 amb SEM amb electrons retrodispersats (Fotografia: Servei de Microscòpia Electrònica de la UAB).



5c. Mapa de distribució dels elements (EDXA) de la capa vermella fosca de la mostra 07 (Fotografia: Servei de Microscòpia Electrònica de la UAB).

elements en una zona de les anteriorment citades, la qual cosa permet determinar tant els components majoritaris de cada capa en general com de la partícula d'un pigment concret.

Anàlisi d'aglutinants

ESPECTROMETRIA D'INFRAROIG (FTIR)

S'ha aplicat aquesta tècnica analítica per tal d'identificar els grups funcionals dels materials orgànics i de les sals existents en les capes de preparació. La tècnica posa en evidència els enllaços existents de les molècules orgàniques i dels anions, permetent la determinació dels grups funcionals per vibracions característiques a determinades longituds d'ona. Com a resultat s'obtenen espectres en els quals apareixen bandes característiques de les diferents vibracions dels grups funcionals existents en la mostra que cal comparar amb patrons ben coneguts i així identificar la substància.¹

CROMATOGRAFIA DE GASOS ACOBLADA

A ESPECTROMETRIA DE MASSES

La cromatografia de gasos serveix per identificar barreges de compostos generalment de materials orgànics, volàtils o transformables en derivats volàtils. La barreja problema es vaporitza i s'introdueix en la columna on es troba la fase estacionària travessada pel flux regular del gas portador. Els temps de retenció de cadascun dels components mesurat des de l'inici a l'arribada del detector depèn de la seva naturalesa. Els resultats es registren en forma de pics sobre un diagrama anomenat cromatograma, que dona valors quantitius i qualitius, i que cal comparar també amb patrons coneguts de substàncies.

En aquesta tècnica s'aplica una metodologia especial per a la determinació d'olis envellits (oxidats).² Mitjançant el quocient entre els àcids palmític i esteàric trobem el tipus d'oli assecant ja que els quocients per a cadascun tenen valors diferents.

Anàlisi biològica

PRESA DE MOSTRES

Es va decidir fer una recollida de mostres generalitzada del quadre, allà on es veien taques (en aquest cas de diferent textura, ja que unes es veien molt denses i les altres eren filaments blancs). Les mostres es recolliren per tal d'identificar l'agent d'alteració i determinar el seu abast.

PROCEDIMENT

Es va recollir el material mitjançant tècniques aèriques en diferents zones. Normalment són els fragments de materials diversos que poden desprendre's durant els processos de manipulació. En aquest cas la forma de prendre les mostres fou la determinada per l'ICCROM en la seva norma estandarditzada per a qualsevol mostra d'origen orgànic. El mètode serveix per avaluar de manera quantitativa i qualitativa el contingut microbiològic.

La mostra es diposita a la placa amb l'agar-agar, prèviament a la sembra. Es fa un rentat lleuger amb un tensioactiu (en el nostre cas, Twin 5%) per eliminar brutícia superficial i permetre el creixement dels organismes que es troben en el material.

També s'utilitzaren hisops humectats en solució salina per poder recollir la mostra de la superfície de la capa pictòrica.



En el cas d'aquests mostrejadors, quan arriba el seu contingut al laboratori és homogeneïtzat i sembrat de manera controlada; això és, *inocular un volum determinat (0,5 ml) en cada placa per tal d'evitar el creixement en excés. De cada tub se'n fan dues sèmres en placa amb medi de cultiu MEA.*

Posteriorment, les observacions microscòpiques ens permeten determinar les característiques taxonòmiques. Els diferents materials recollits s'observen amb l'ajut del microscopi binocular o estereoscopi, que ens permet seleccionar les mostres més adequades per al seu estudi posterior. Sota la lupa binocular són observades les plaques de cultiu; d'aquesta manera es controla el nombre de colònies, característiques, forma, color, aspecte, etc. També permet aïllar les colònies i fer les preparacions per ser observades al microscopi.

D'altra banda, el microscopi òptic, que permet treballar fins a 1000 augments, és imprescindible per identificar les espècies a partir de les mesures i morfologies observades en cada cas (Jenaval, ZEISS). En alguns casos, l'observació s'ha complementat amb contrast interferencial (Leitz DMRB-Leica). Amb aquest microscopi s'han realitzat les fotografies.

RESULTATS

Anàlisi del suport

L'estudi va posar en evidència un llenç de fibra de lli amb trama densa i amb un teixit de tafetà. La torsió dels fils, tant de la trama com de l'ordit, presentaven desviació en Z. La mostra manifestava un envelliment general per oxidació que l'enfosquia i debilitava. Amb tot, es van posar de manifest les característiques típiques de la fibra, en la seva secció transversal i longitudinal, a microscòpia òptica amb llum transmesa i polaritzada. La fibra vista longitudinalment presentava una estructura cilíndrica bastant regular, llisa en superfície i extensa en línia recta, amb un diàmetre aproximat de 20 micres i amb nodositats alternes. En secció transversal s'apreciava el canal interior de dimensions reduïdes i la seva morfologia poligonal només visible en alguns casos a causa del seu envelliment.

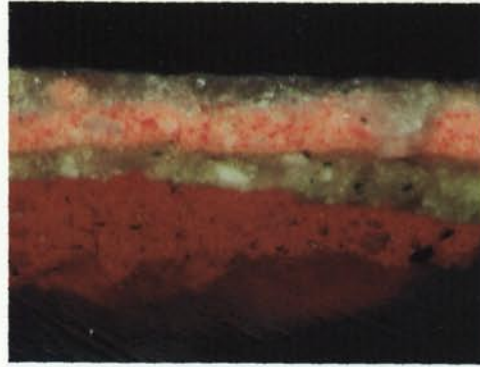
Anàlisi de policromies

Mostra 03				
Blau del mantell de la Mare de Déu				
Capa	Color	Gruix	Elements	Compostos
1	Blau	40µm	Fe	Blau de Prússia
2	Gris-verd	80µm	CaSO ₄ / PbCO ₃ / Al	Blanc de plom, Guix, Terres, Blau esmalt
3	Vermell	240µm	Si, Al, Mg, Ca, Fe	Calcita, Negre vegetal, Argiles-Terra de Sevilla

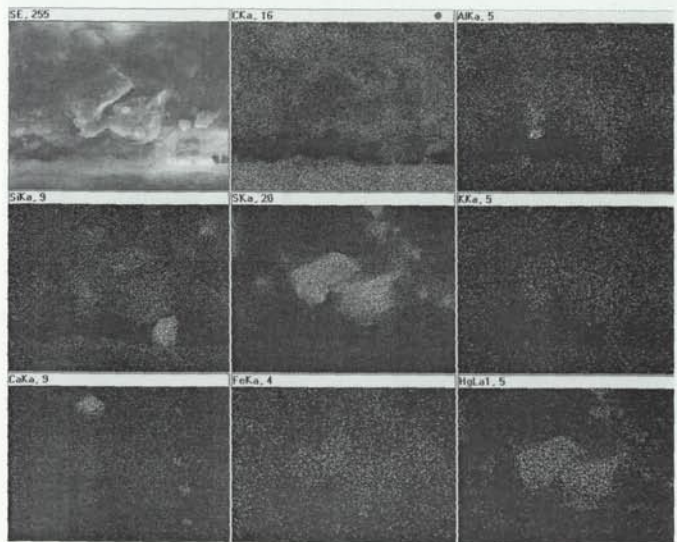
L'estructura d'aquesta estratigrafia és la de tota la meitat superior del quadre. Hi ha tres capes i la superior és la que dona el color a la figura, en aquest cas la Mare de Déu.

Capa 1.- Constituïda per una matriu oliosa on es troben immersos grans petits a vegades aglomerats entre ells (blau de Prússia). En ocasions tendeix a semblar de color verdós, probablement per l'envelliment de l'oli.

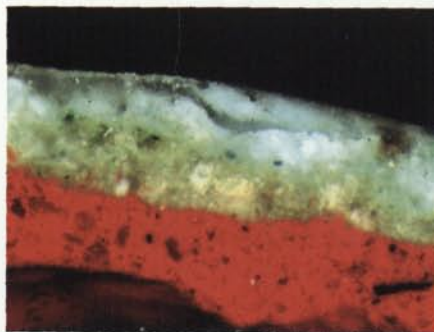
Capa 2.- Intermèdia. Presenta una coloració entre verd i gris. S'aprecia una matriu oliosa de color groc en la que es troben



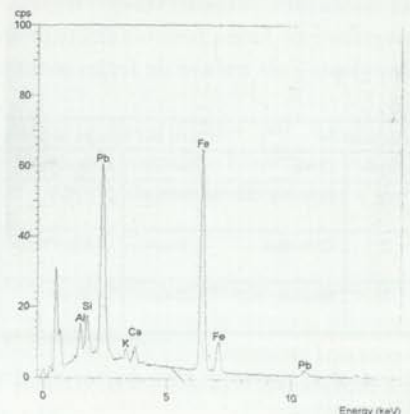
6a. Estratigrafia de la mostra 10, visió amb camp fosc MOR-500X (Fotografia: R. Rocabayera).



6b. Microanàlisi per DEX corresponent al cinabri de la mostra 10 (Fotografia: Servei de Microscòpia Electrònica de la UAB).

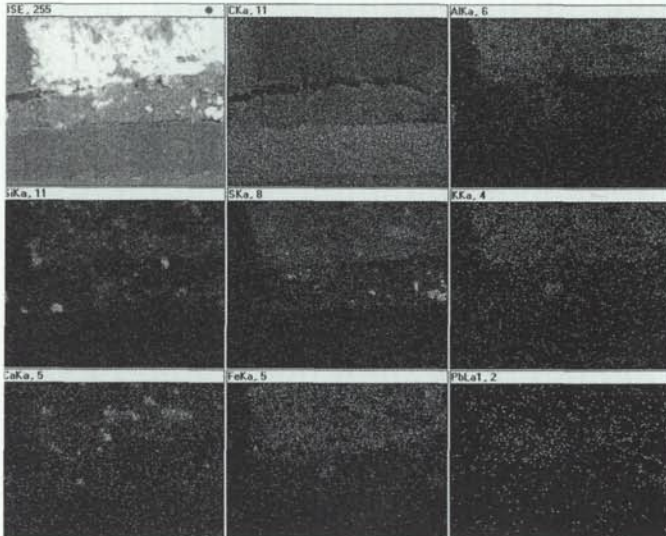
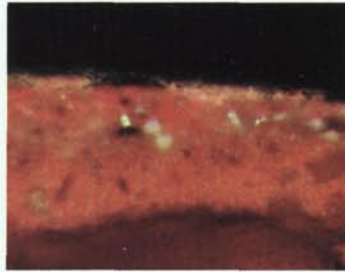


7a. Estratigrafia de la mostra 11, visió amb camp fosc MOR-500X (Fotografia: R. Rocabayera).



7b. Microanàlisi per DEX corresponent a la capa gris verdosa (Fotografia: Servei de Microscòpia Electrònica de la UAB).

8a. Estratigrafia de la mostra 12, visió amb camp fosc MOR.-500X (Fotografia: R. Rocabayera).



8b. Imatge de la mostra 12 amb SEM amb electrons retrodispersats (Fotografia: Servei de Microscòpia Electrònica de la UAB).

immersos pigments i càrregues. La granulometria d'aquests és de gran diversitat, sobretot pel que fa als grans transparents (calcita) en forma esfèrulítica irregular. I els de color blanc en forma de partícules arrodonides (blanc de plom). Els fragments que donen coloració verdosa apareixen al microscopi amb diferents tonalitats i mida variable. Amb llum polaritzada s'ha pogut apreciar la seva isotropia, la qual cosa confirma que es tracta d'un esmalt blau.

Capa 3.- Base inferior. És una capa de gruix molt superior a les altres dues capes i de consistència compacta, tot i tenir una granulometria diversa. Presenta una matriu de partícules fines de color vermell-ataronjat (terra de Sevilla). En ella es troben grans transparents (calcita), uns de mida més gran (quars) i en menor quantitat grans blancs petits i isodiamètrics, que podrien ser de marbre. Alhora s'observen grans de color negre de mida irregular i de forma heterodiamètrica (negre de vinya), són poc abundants i els trobem de forma aleatòria.

Mostra 04 Ocre del marge superior del quadre				
Capa	Color	Gruix	Elements	Compostos
1	Ocre blanquinós	110µm	SO ²⁻ /CO ³⁻	Olis assecants, Calcita, Terres, Guix
2	Gris-verd	40µm	CaSO ₄ /PbCO ₃	Blanc de plom, Guix, Terres ocre, Blau esmalt
3	Vermell	200µm	SiO ₂ /FeO	Calcita, Negre vegetal, Argiles-Terra de Sevilla

La mostra presenta tres capes de gruix diferent, però ben delimitades.

Capa 1.- Superior. És de color ocre i vista al microscopi s'observa una coloració entre blanc i groc. S'aprecia una matriu grassa amb partícules fines de color ocre ataronjat (terra ocre). En aquesta matriu s'observen partícules heteromètriques. La quantitat de carbonats i una petita proporció de sulfats detectats a espectrometria d'infraroig determinen el seu contingut en calcita i guix, que actuen com a càrregues.

Capa 2.- Intermèdia. És molt similar a la capa 2 de la mostra anterior, però el seu gruix és notablement inferior.

Capa 3.- Base vermella de composició i contingut igual a la mostra anterior.

Mostra 07 Vermell figura purgatori marge dret				
Capa	Color	Gruix	Elements	Compostos
1	Vermell clar	40µm	Ca, C	Creta, Laca vermella
2	Vermell fosc	80µm	S, Hg, Fe, O	Cinabri, Terres vermelles
3	Vermell	240µm	Si, Al, Mg, Ca, Fe	Calcita, Negre vegetal, Argiles-Terra de Sevilla

La mostra presenta tres capes, tot i que la superior és molt fina i no quedaria molt clara la seva presència sinó fos per la coloració, components i textures tan diferents de la següent.

Capa 1.- Superior. Constituïda per partícules molt triturades de carbonat càlcic (Creta) que actuarien com a càrrega d'una laca vermella. Aquesta capa hauria estat col·locada en forma de veladura, per aclarir la següent capa que és molt fosca o donar un matís diferent.

Capa 2.- Intermèdia. Té una matriu de grans mitjans de color vermell fosc (terres vermelles), partícules transparents (calcita) i vermell fosc (cinabri). En aquesta matriu hi ha grans heteromètrics blancs i grans de color negre (negre de vinya).

Capa 3.- Inferior. Capa vermella base, descrita en la mostra 03.

Mostra 10 Vermell del mantell de la Mare de Déu				
Capa	Color	Gruix	Elements	Compostos
1	Ocre clar	30µm	Ca	Vernís, Creta
2	Vermell clar	120µm	Pb, S, Hg, Si, Al, Fe	Carbonat de plom, Cinabri
3	Gris verdós	85µm	CaSO ₄ /PbCO ₃	Blanc de plom, Guix, Terres ocre, Blau esmalt
4	Vermell	235µm	Si, Al, Mg, Ca, Fe	Calcita, Negre vegetal, Argiles-Terra de Sevilla

La mostra presenta quatre capes de gruix diferent, però ben delimitades.

Capa 1.- És una capa homogènia i translúcida de color ocre clar (vernís) que presenta partícules de cristalls transparents (quars), alguns de negres i pocs de color blanc.

Capa 2.- És una capa heterogènia constituïda per una matriu grassa de color blanc (blanc de plom), entremig de la qual s'observen grans heteromètrics entre mitjans i petits, de color vermell amb una forta intensitat de color (cinabri).

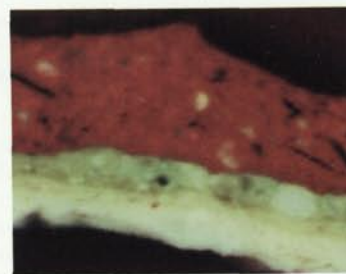
Capa 3.- Capa gris verdosa, descrita en la mostra 03.

Capa 4.- Capa vermella base, descrita en les mostres anteriors.

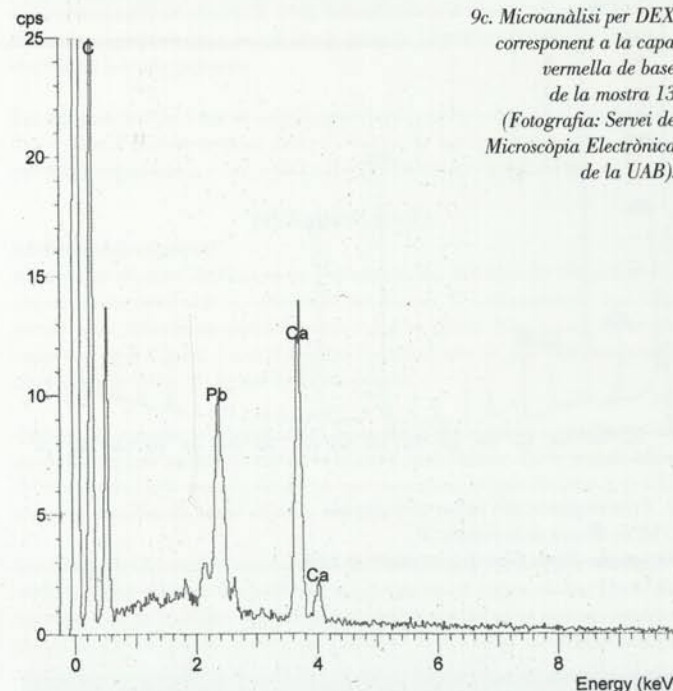


Mostra 11 Blau del mantell de Crist				
Capa	Color	Gruix	Elements	Compostos
1	Blau clar	100µm	Pb, Fe	Carbonat de plom, Blau esmalt
2	Gris verdós	90µm	Pb, Si, Al, Mg, Ca, Fe	Blanc de plom, Guix, Terres ocre, Blau esmalt
3	Vermell	240µm	O, Si, Fe, Pb	Calcita, Negre vegetal, Argiles-Terra de Sevilla

9a. Estratigrafia de la mostra 13, visió amb camp fosc MOR.-500X (Fotografia: R. Rocabayera).



9b. Imatge de la mostra 13 amb electrons retrodispersats (Fotografia: Servei de Microscòpia Electrònica de la UAB).



9c. Microanàlisi per DEX corresponent a la capa vermella de base de la mostra 13 (Fotografia: Servei de Microscòpia Electrònica de la UAB).

La mostra presenta tres capes ben definides i de gruix similar.

Capa 1.- És una capa de color blau molt clar i de textura homogènia. S'observa una matriu oliosa de color blanc que presenta cúmuls de color blanc (blanc de plom). De forma aleatòria i indeterminada hi ha cristalls de color blavós (esmalt blau) de mida molt petita i amb una clara distribució dispersa en la matriu de color blanc.

Capa 2.- Intermèdia. Coincideix amb la descripció explicada en les mostres 03, 04 i 10.

Capa 3.- Base vermella. Presenta les mateixes característiques de les mostres anteriors.

Mostra 12 Vermell d'una figura del purgatori				
Capa	Color	Gruix	Elements	Compostos
1	Vermell clar	40µm	C, Ca	Creta, Colorant orgànic
2	Vermell fosc	80µm	Hg, S, Si, Fe, K, Al	Cinabri, Terres vermelles
3	Base Vermella	200µm	Si, Al, Mg, Ca, Fe	Calcita, Negre vegetal, Argiles-Terra de Sevilla

En aquesta estratigrafia s'observen tres capes similars a les de la mostra 07 però de diferent gruix i, a més, manifesta petites diferències en la segona capa.

Capa 1.- És una capa molt fina, constituïda per partícules molt triturades de carbonat càlcic (creta) que actuarien com a càrrega d'una laca vermella. Aquesta capa hauria estat col·locada en forma de veladura.

Capa 2.- Intermèdia. Constituïda per una matriu de grans mitjans de color vermell fosc (terres vermelles), partícules transparents (quars) i vermell fosc (cinabri). En aquesta matriu hi ha grans blancs dispersos de mida molt gran (blanc de plom), i en menor proporció grans petits i mitjans de color negre (negre de vinya).

Capa 3.- Capa vermella base, descrita anteriorment.

Mostra 13 Carnació angelet				
Capa	Color	Gruix	Elements	Compostos
1	Rosa clar	70µm	C, Pb, S, Hg	Carbonat de plom, Cinabri
2	Gris verdós	85µm	Pb, Si, Al, Mg, Ca, Fe	Blanc de plom, Guix, Terres ocre, Blau esmalt
3	Vermell	24µm	Si, Al, Mg, Ca, Fe	Calcita, Negre vegetal, Argiles-Terra de Sevilla

Aquesta estratigrafia presenta tres capes ben definides.

Capa 1.- Capa de color rosat. A microscòpia òptica s'observa una matriu densa de color blanc (blanc de plom) d'aspecte globular i oliosa. Immersa en aquesta s'observen petites partícules de color vermell (cinabri) de forma irregular.

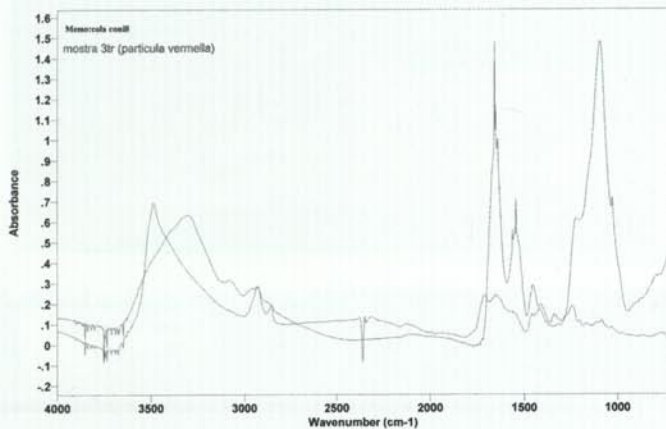
Capa 2.- Intermèdia i de color gris verdós, es correspon en mida i textura amb les mostres anteriors 03, 04, 10 i 11.

Capa 3.- Es correspon amb la capa vermella base, descrita anteriorment.

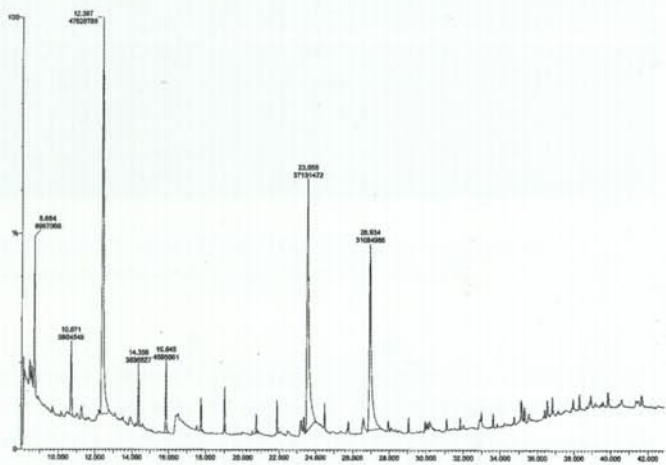
Anàlisi d'aglutinants

La identificació dels aglutinants utilitzats per Francesc Tramulles en aquest quadre va ser portada a terme per cromatografia de gasos acoblada a espectrometria de masses i per espectrometria d'infraroig.

Es van analitzar tres mostres preses a diferents alçades per poder corroborar la hipòtesi de dos tipus de tècnica diferent aplicades a la part superior del quadre i a la inferior. Les mostres són fragments de les extremitats per a l'anàlisi estratigràfica i catalogades com a 03, 04 i 12.



10. Espectre d'infraroig FTIR de base vermella de la mostra 07
(Fotografia: Servei Científico-tècnic de la UB).



11. Cromatograma dels valors corresponents
a l'oli de llinosa de la mostra 12
(Fotografia: Servei Científico-tècnic de la UB).



12a. Colònia d'actinomicets.
Cultiu en placa
(Fotografia: R. Rocabayera).

De l'anàlisi per cromatografia de gasos s'han obtingut uns valors que permeten concloure que el tipus d'oli utilitzat és oli de llinosa segons el gràfic de Renato Pancella i Richard Bart.

Els cromatogrames obtinguts a partir de les micromostres presenten els pics corresponents a l'àcid azelaic (A), al palmític (P) i a l'esteàric (S), els quals ens confirmen que els aglutinants utilitzats per Francesc Tramulles eren de tipus oliós. Per conèixer el tipus d'oli s'ha de fer el quocient P/S, i només es va obtenir en un cas el valor límit corresponent als olis de llinosa. Per ajustar millor els valors, es va calcular la relació A/P que és característica de cada oli. Com que l'azelaic és el principal producte de degradació del olis assecants,³ Renato Pancella i Richard Bart basen la seva identificació en un gràfic on representen el quocient P/S davant l'A/P. Cada tipus d'oli (llinosa, nous) apareixen en una zona concreta, la qual cosa permet caracteritzar-los. A partir dels valors obtinguts en els cromatogrames es representa el quocient P/S davant de l'A/P i es compara amb els gràfics patrons de Pancella i Bart, confirmant-se l'existència d'oli de llinosa només en les mostres de la part superior del quadre (03 i 04).

Per mitjà de les tècniques d'espectroscòpia d'infraroig per energia transformada de Fourier s'han obtingut resultats de fragments de les micromostres. Aquesta tècnica aplicada a un microscopi permet senyalar un punt concret on fer l'anàlisi. D'aquesta manera les mostres que han estat estudiades per capes confirmen que la tècnica és la mateixa per cadascuna d'elles. Els resultats s'han obtingut en forma d'espectres amb bandes característiques de cadascun dels components orgànics. Aquests components han estat la cola de conill, com a component majoritari en la capa vermella de base, en totes les mostres estudiades, i la presència d'olis en les capes superiors de la part de dalt del quadre.

Anàlisi de la biodeterioració

Las mostres tractades en el laboratori, una vegada fets els cultius i obtingudes les colònies, es van estudiar amb tècniques de microscòpia òptica per tal de determinar les espècies presents.



12b. Visió del fong *Alternaria alternata* amb MOT-250X
(Fotografia: R. Rocabayera).



En les mostres recollides es van trobar fongs de la família de les demaciacees i actinomicets (organismes procariotes a cavall de bacteris i fongs). Aquestes dues tipologies coincideixen amb les fenomenologies de la seva alteració en dos tipus de taques de textura i color diferent en la superfície pictòrica.

L'espècie fúngica és *Alternaria alternata*, un fong capaç de deteriorar matèria orgànica de naturalesa diversa. Aquests organismes pertanyen als micromicets que tenen melanina en el seu contingut cel·lular i, per tant, poden suportar condicions extremes.

Els actinomicets van ser determinats com a gènere *Streptomyces sp.*, el qual es manifesta en forma de filaments blancs que formen cúmuls fàcilment confosos amb acumulacions salines.

Tots dos microorganismes tenen com a hàbitat prioritari el sòl i poden ser distribuïts pel vent en forma de partícules aerovagants i, per tant, poden contaminar suports amb presència de nutrients, sempre que hi hagi humitat suficient. Encara que normalment és en la part de darrera del quadre on es desencadena el creixement fúngic, en aquesta ocasió l'atac procedeix de la part externa de la capa pictòrica, penetrant cap a l'interior. Això és símptoma d'una humitat molt elevada en l'ambient.⁴ Els cúmuls de pols presents en la superfície de la peça donen peu a la interpretació que la brutícia en forma de pols llargament dipositada sobre l'estrat pictòric pot haver col·laborat a la infecció, sense oblidar les condicions ambientals d'humitat relativa elevada que la mateixa pols, com a material higroscòpic que és, pot haver potenciat.

Per altra banda, els dos micromicets són susceptibles de generar enzims tipus proteasa i descomposar fàcilment aquelles substàncies que continguin algun tipus de proteïna. Com que les proteïnes formen part de la capa pictòrica, és raó suficient perquè els organismes penetrin i degradin aquest material. El creixement biològic, a més de crear alteracions cromàtiques, canvia la porositat del material pictòric.

AGRAÏMENTS

A José Luis Prada per la seva col·laboració.

NOTES

¹ M.R. DERRICK, J.M. LANDRY, D.C. STULICK, *Methodes in scientific examination of works of art: Infrared microspectroscopy*, Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 1991.

² R. PANCELLEA, R. BART, *Identification des liants organiques dans les couches picturales par chromatographie en phase gazeuse*. Lausanne: Laboratoire de Conservation de la Pierre, EPDLF, 1989, p. 101-111.

³ A. PALET, *Tratado de pintura*. Barcelona: Universitat de Barcelona, 2002.

⁴ G. MAGAUDA, *Il Biodeterioramento dei Beni Culturali*. Borgia, 1994.

Caracterización de los materiales y de la técnica pictórica.

Este estudio se ha basado en la aplicación de varias técnicas analíticas e instrumentales, con la finalidad de determinar la técnica pictórica y los materiales de la pintura de la Virgen del Carmen intercediendo en favor de las ánimas del purgatorio. De este modo se puede establecer la forma de trabajar del pintor y deducir sus características artísticas. También es importante para entender las alteraciones observadas, ayudar a determinar las causas y decidir el proceso de restauración y los parámetros de conservación.

Rosa Rocabayera Viñas. Profesora de Biología, Física y Química de la ESCRBC. rocabay@pie.xtec.es

En este estudio se han aplicado las técnicas de análisis más idóneas para determinar la materialidad de la obra. El análisis del soporte se ha realizado con técnicas histológicas y microscópicas aplicadas a la identificación de fibras. La identificación de los pigmentos se ha llevado a cabo mediante microanálisis con el microscopio electrónico de rastreo acoplado a un sistema de energía dispersiva de rayos X sobre estratigrafías obtenidas a partir de micromuestras extraídas de la pintura. La identificación de los aglutinantes se ha hecho mediante cromatografía de gases acoplada a espectroscopia de masas. Y complementando a ambas técnicas se ha utilizado la espectroscopia de infrarrojo para la identificación de los componentes de la capa pictórica.

Las alteraciones biológicas se han estudiado a parte y con técnicas de cultivo e identificación óptimas para el estudio de las tipologías de los diversos microorganismos, y así poder valorar el alcance de los daños.

METODOLOGÍA

Análisis del soporte

El objetivo de este análisis es la determinación del tipo de tela utilizada por el artista mediante el estudio de sus fibras. El entramado de una tela puede estar constituido por diferentes tipos de fibras. Esto puede darse en cada uno de los hilos y con diferente cantidad, por lo que será necesario el estudio de éstos de forma individualizada.

Primero se estudia la tipología del ligamiento de la tela y a continuación se extrae un hilo para determinar la trama y la urdimbre. Cada uno de ellos debe ser estudiado por separado ya que tienen un origen distinto y, por lo tanto, se estudiarán como objetos únicos.

Las fibras son la unidad más sencilla de los hilos y por ello deberemos proceder a partir de éstos hasta llegar a determinar el origen de las fibras de la trama y de la urdimbre. La identificación de las fibras se realiza siguiendo un protocolo, según el cual las muestras de los hilos son tratadas para recuperar la morfología el máximo de natural posible y ser observadas en una preparación microscópica con luz polarizada y luz transmitida.

Análisis de las policromías

OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA

La observación del estado de conservación de la obra y los exámenes globales con luz UV y reflectografía de IR se realizaron en el taller de restauración y pusieron de manifiesto dos zonas muy diferenciadas que podían evidenciar la aplicación de técnicas pictóricas diferentes, coincidiendo con la iconografía del cuadro (cielo y purgatorio).

Además, en diferentes zonas se observó una fenomenología clara de alteración por ataque biológico. La manifestación estaba en la superficie pictórica en forma de dos tipologías que hacían pensar en dos tipos de organismo como la causa de la alteración.

Se extrajeron varias muestras de zonas representativas del cuadro, etiquetadas como microestratigrafías de 01 a 14. Las muestras recogidas fueron observadas a microscopía óptica estereoscópica para determinar sus características como fase previa a la embutición.

Las muestras embutidas en resina se cortaron y se pulieron para conseguir la