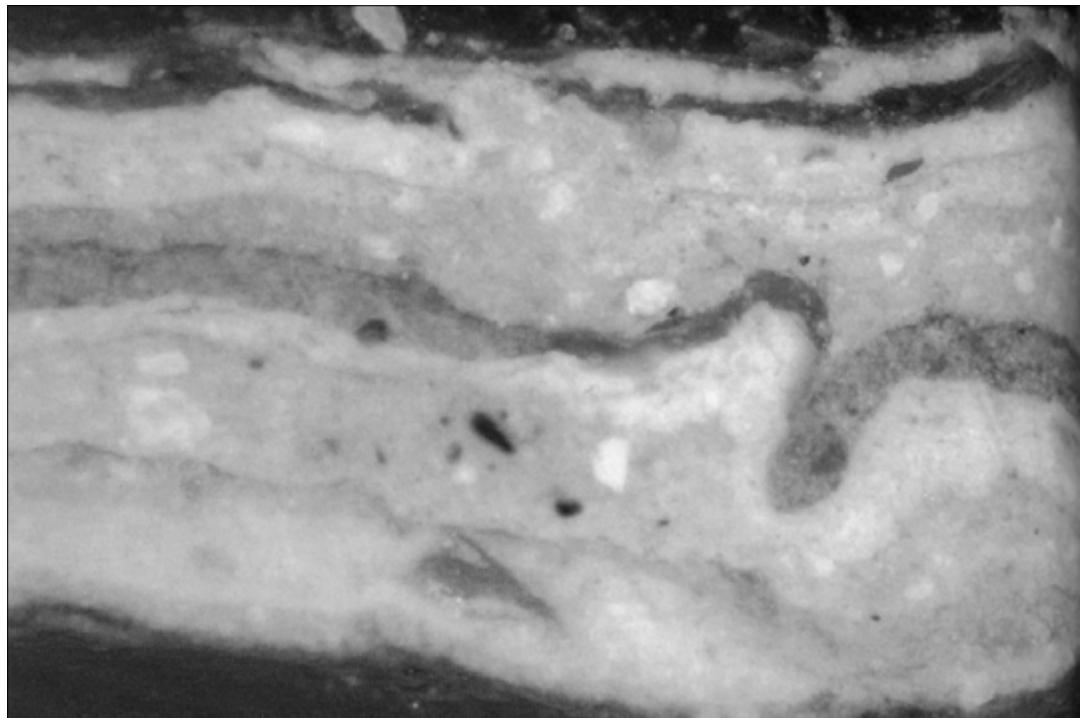


Técnicas analíticas aplicadas a la conservación de Bienes Muebles:

El estudio estratigráfico de
películas pictóricas



Lourdes Martín García
Centro de Intervención del IAPH

Con este artículo se inicia una serie en la que se intenta dar a conocer la aplicación de las distintas técnicas analíticas al conocimiento del patrimonio cultural, en particular a los bienes muebles. Este conocimiento de las obras tiene como objetivo fundamental su conservación, tanto desde el punto de vista de los materiales que las componen como del ambiente que las rodea.

Introducción

El conocimiento de una obra de arte se ha producido en el pasado fundamentalmente a través del estudio histórico-artístico. Las intervenciones de restauración o conservación se han basado tradicionalmente en criterios fundamentalmente empíricos. Tras el extraordinario desarrollo de las ciencias experimentales, el estudio de una obra desde este único punto de vista no es aceptable ni conveniente.

La química y otras ciencias experimentales estudian la materia, por lo que pueden ser de gran ayuda para conocer en profundidad un aspecto importante de las obras, su naturaleza material.

Pero no se puede considerar la obra aisladamente formada por sus materiales originales, sino en conjunto con su entorno, y condicionada por una serie de intervenciones precedentes. De esta forma, los objetivos de los análisis pueden ser los siguientes:

Análisis de los materiales constitutivos y de la técnica de ejecución

Estos datos son útiles para el conocimiento histórico-artístico de una obra, un autor, una escuela o un periodo artístico, pero también puede dar información fundamental para la elección del método más adecuado para la restauración o conservación.

Datación y autentificación

El estudio histórico-artístico de una obra a menudo requiere resolver problemas de datación y autentificación, lo que se ha hecho tradicionalmente con criterios estilísticos, pero que actualmente puede apoyarse además en métodos de análisis que proporcionen información sobre materiales y técnicas utilizadas por los autores o en la datación absoluta o relativa de las obras.

Determinación del estado de conservación

La materia, y por tanto el aspecto de una obra, está sujeta a continuas e inevitables transformaciones, debidas a que todos los objetos tienden a alcanzar el equilibrio con el ambiente que lo rodea. Estas transformaciones, desde el punto de vista químico-físico, se manifiestan en la alteración de los materiales que componen la obra, especialmente de aquéllos en contacto más directo con el ambiente. El conocimiento de dichas transformaciones y de sus causas son fundamentales para cualquier intervención de mantenimiento, restauración y conservación.

Determinación de las posibles intervenciones previas

En la mayoría de los casos las obras han sufrido en el pasado intervenciones de restauración que han intro-

ducido en ellas materiales nuevos o han causado transformaciones no previstas. Generalmente tales materiales han sufrido una alteración más rápida que los originales, haciéndolos inadecuados para los criterios estéticos y conservativos para los que se utilizaron.

Los criterios actuales abogan por anular, en cuanto sea posible, tales intervenciones, y de mantener en condiciones más duraderas lo que queda de original; en algunas ocasiones, y con las máximas limitaciones, sustituir los viejos materiales de restauración con otros que respondan mejor a los criterios actuales.

De aquí la necesidad de conocer la existencia y la naturaleza de tales materiales por medios analíticos.

Elección y evaluación de materiales de restauración nuevos

Actualmente se encuentran disponibles una gran variedad de productos sintéticos entre los cuales deben escogerse los más adecuados a las intervenciones de restauración. Esta selección no debe efectuarse teniendo en cuenta sólo las características más remarcables, sino considerando todas las exigencias particulares y las posibles consecuencias que el empleo de un material puede comportar. Para ello pueden utilizarse las distintas técnicas de ensayo que permiten determinar las características de estos productos o estudiar su eficacia y compatibilidad con los materiales originales de las obras, así como realizar ensayos de alteración acelerada que definen su comportamiento frente a los agentes de alteración previamente a su aplicación.

Control de las intervenciones de conservación

En el ámbito general de la conservación es de gran importancia el control químico-físico periódico no sólo de la obra de arte misma sino de los distintos materiales extraños introducidos durante la intervención de restauración.

A pesar del conocimiento mucho más exhaustivo del que se dispone a la hora de seleccionar los productos de tratamiento, está clara la cantidad de transformaciones que cualquier material, por bueno que sea, puede experimentar según las condiciones a las que se encuentre sometido.

Por todo ello debe controlarse de forma sistemática el comportamiento de estos materiales, sobre todo por las posibles interacciones que pueden surgir con las sustancias originales en contacto con ellos.

Puesta a punto y control de las condiciones de conservación

Estando cualquier material, ya sea original o introducido posteriormente, expuesto a la alteración, son de gran importancia los estudios que permiten definir las mejores condiciones ambientales para la conservación.

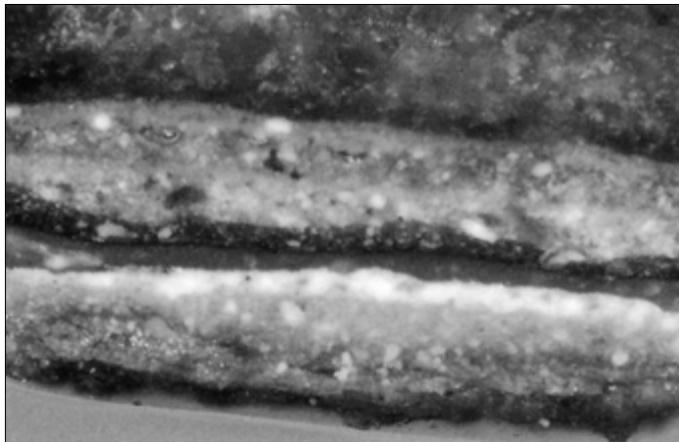
En el pasado no se actuaba sobre las condiciones ambientales para controlar o crear el microclima idóneo en torno a una obra. La localización sólo dependía de la función para la cual se destinaba la obra. Se establecía la diferencia entre obras a la intemperie y obras en el interior, pero no siempre ambiente cerrado significaba ambiente más protegido.

Actualmente las condiciones técnicas permiten hacer corresponder el concepto de ambiente cerrado con ambiente protegido, con garantías de las mejores condiciones de conservación. Para conseguir estas condiciones, la ciencia puede proporcionar los datos precisos.

CAPÍTULO I

El estudio estratigráfico de las películas pictóricas

El seccionamiento de una muestra tomada de una obra de arte, a lo largo de un plano perpendicular a su superficie proporciona una importante información sobre la técnica de ejecución y su estado de conservación.



I. Observación al microscopio óptico de la sección transversal de una muestra de pintura, en la que se observan los diferentes estratos

La importancia de esta sección transversal resulta clara si se piensa que la mayoría de las obras tienen una estructura formada por estratos superpuestos, de los que sólo son visibles los más externos. Las modificaciones que, a lo largo del tiempo, ha sufrido la obra tienen también una estructura estratiforme, ya se trate de intervenciones humanas o transformaciones debidas al tiempo o al ambiente.

Es por tanto importantísima la información que proporciona una sección transversal preparada a partir de un fragmento tomado de la obra.

La sección del fragmento puede destinarse fundamentalmente a dos tipos de investigación:

Análisis óptico, en el sentido más amplio, contemplando aquí todas aquellas técnicas que utilizan radiación de distinta naturaleza, entre las que se encuentra la luz visible.

Análisis químico, especialmente las determinaciones más útiles.

Dado que las muestras son siempre pequeñas, las determinaciones fundamentales se basan en análisis ópticos realizados al microscopio y microanálisis químico.

Una pintura o escultura policromada está compuesta por distintos elementos:

- El soporte o material sobre el que se realiza la obra, que puede ser de madera, papel, tela o cuero.
- La capa de preparación, que tiene como finalidad preparar el soporte para recibir la capa de pintura.
- Una o varias capas pictóricas, compuestas por pigmentos coloreados dispersos en un aglutinante.
- El barniz o capa protectora.

La determinación cualitativa de los distintos componentes de todos estos estratos (fig. I) puede realizarse sobre la sección estratigráfica, con la metodología que se expone a continuación:

Toma de muestras

La muestra se extrae con ayuda de un bisturí o instrumento cortante bien afilado. Se toman en el borde de las lagunas de la policromía o bien aprovechando una grieta o craquelado de la pintura. Resulta muy útil el contar con una lupa o microscopio estereoscópico con el que observar la superficie de la pintura.

Se hace una incisión lo más profunda y vertical posible, con el fin de conseguir todas las capas o estratos de pintura. Se extraen uno o dos fragmentos del tamaño de un milímetro, aproximadamente, para poder realizar los diferentes análisis. La muestra se recoge con la ayuda de un pincel humedecido y se introduce en un pequeño tubito, el cual se etiqueta con unas siglas y un número de referencia. Sobre una fotografía o gráfico se localiza la muestra y se anota una descripción de la misma y de cualquier incidencia que haya sucedido durante la toma de muestra.

Resulta fundamental el escoger cuidadosamente el punto de muestreo, tratando de compaginar el hecho de que la muestra ha de ser representativa y por otro lado tiene que estar situada en lugar no estratégico y poco visible.

Puesto que la toma de muestras siempre causa un pequeño daño a la obra, hay que tratar siempre que el número de estas sea el menor posible y que obtengamos la máxima información. En estudios generales se suele tomar una muestra de cada color representativo presente; en otras ocasiones, lo que se busca es ofrecer una ayuda al restaurador respecto a algún problema específico o proporcionarle información sobre anteriores restauraciones.

Preparación de la sección estratigráfica

La preparación de la sección transversal o estratigráfica nos permite obtener gran cantidad de información con un fragmento muy pequeño de muestra. Nos permite estudiar la secuencia de capas de pintura, observar su color y textura, medir sus espesores, estudiar los pigmentos y realizar el análisis químico de las mismas.

Los pequeños fragmentos de pintura se estudian con la ayuda de un microscopio estereoscópico de pocos aumentos seleccionándose el fragmento más representativo de la misma, el resto de la muestra se guarda para el posterior análisis microquímico.

La muestra es incluida en el interior de una resina poliéster o bien se embute entre dos pequeños cubos de metacrilato que posteriormente se unen con la ayuda de un poco metacrilato monómero líquido dejándose polimerizar, hasta que todo forma un bloque único en cuyo interior está la muestra (fig. 2).

Posteriormente, se lleva a cabo el desbaste y pulido de la cara de la muestra hasta obtener el corte transversal. Esto se realiza utilizando papeles de carburo de silicio de diferente granulometría. Primero, se realiza el desbaste más grueso con la ayuda de una pulidora refrigerada por agua y un disco de grano 80 (Struers) puliendo hasta llegar a las proximidades de la muestra. Después, se prosigue el pulido, de forma manual y en seco, con papeles de grano cada vez más fino hasta conseguir una superficie con reflexión especular.

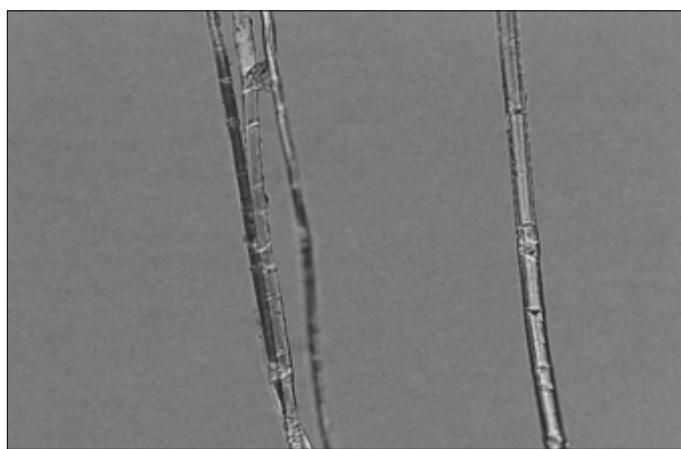
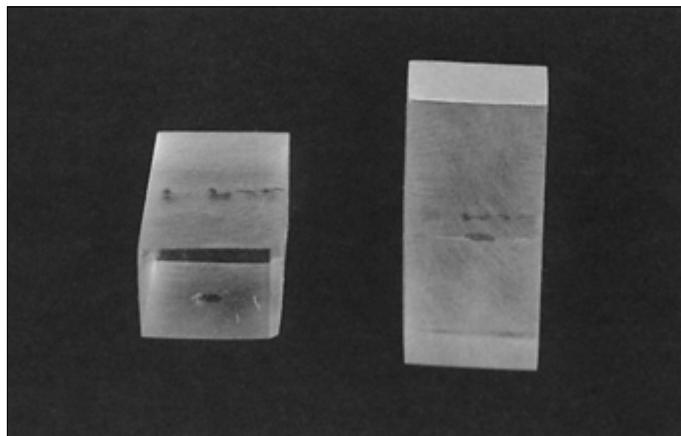
Una vez expuesta la sección transversal de la muestra podemos ya realizar la observación microscópica de su estructura estratigráfica.

Preparación de láminas delgadas

En ocasiones, resulta útil completar el estudio de la sección estratigráfica empleando luz transmitida; esto se utiliza fundamentalmente en el caso de las veladuras y barnices, así como para realizar el estudio de las características ópticas de algunos pigmentos.

En estos casos, se preparan las láminas delgadas de las muestras, a partir de la secciones transversales obtenidas con anterioridad. Para ello, se pega la estratigrafía sobre un portaobjetos de metacrilato, con un adhesivo a base de metacrilato líquido y una pequeña cantidad de catalizador y se prensa el conjunto. Luego se pule la muestra con papeles de carburo de silicio, hasta obtener una lámina delgada de escasas micras de espesor; controlando todo el proceso, con la ayuda de un microscopio estereoscópico.

La lámina delgada, así obtenida, se puede observar al microscopio óptico con luz transmitida y/o luz reflejada, normalmente polarizada.



2. Preparación de muestras.

Estudio de fibras textiles

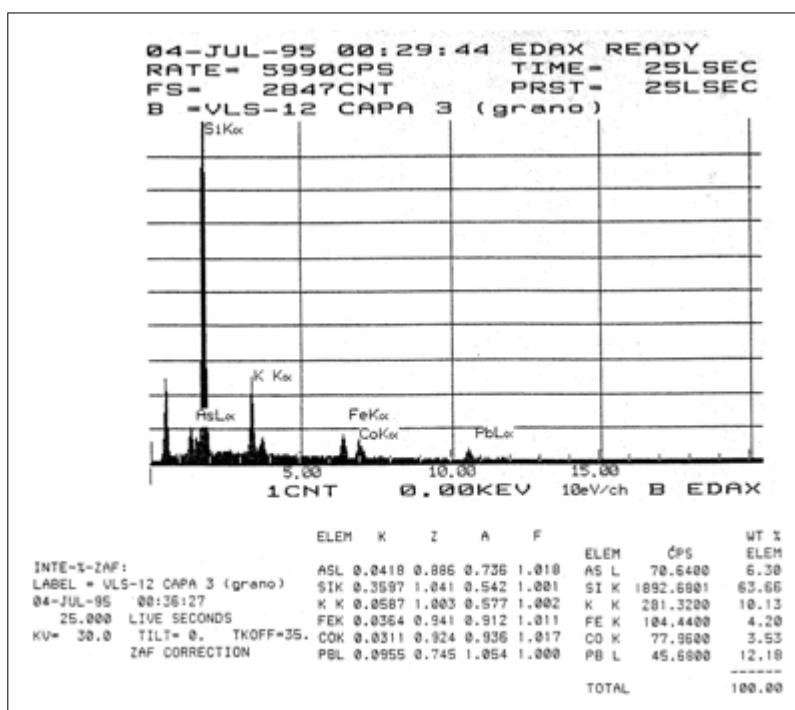
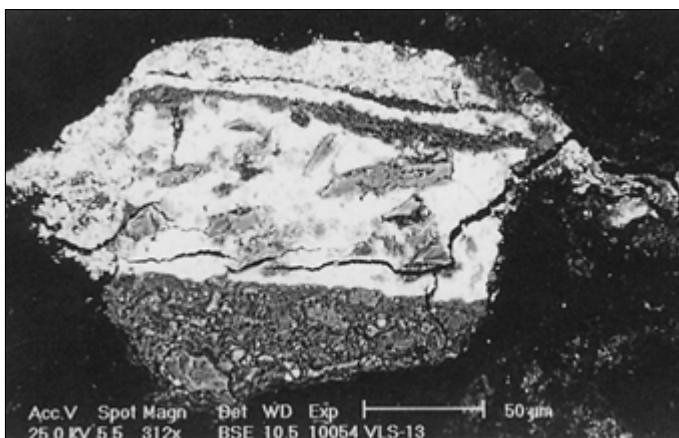
El reconocimiento de las fibras textiles perteneciente al soporte pictórico se realiza, habitualmente, por observación microscópica del corte longitudinal y transversal de la fibra.

Antes de proceder al examen microscópico, es conveniente eliminar los restos de cola, barniz o apresto que pueda tener el tejido. Para ello se sumerge en una solución acuosa diluida de sulfato sódico y se lleva a ebullición. El tejido así tratado se coloca sobre un portaobjetos, separando bien las fibras, con la ayuda de unas agujas enmangadas y se estudia al microscopio óptico con luz transmitida polarizada.

La preparación de la sección transversal es similar a la realizada para obtener las láminas delgadas de pintura. En ocasiones, se emplean diversos reactivos que tienen por objeto hacer más visibles las características morfológicas de las fibras (fig. 3).

Observación al Microscopio Óptico

El estudio de la sección estratigráfica se realiza con luz reflejada, polarizada o no, utilizándose la técnica de iluminación en campo oscuro. Las láminas delgadas así como las fibras textiles se estudian con luz transmitida polarizada. El espesor de las capas de pintura se determina con la ayuda de un ocular con una escala calibrada.



4. Observación al Microscopio Electrónico de Barrido de la sección transversal de una muestra de pintura, en la que puede observarse su estructura en general, y además, los gruesos cristales de pigmento que constituyen una de las capas.

5. Espectro de rayos X por dispersión de energía correspondiente a un grano de pigmento y su correspondiente análisis semicuantitativo.

En una ficha se anotan el número de capas y su descripción, el espesor de las mismas, los pigmentos observados y cualquier característica de los mismos que nos ofrezca alguna información, así como un esquema de la secuencia estratigráfica; a esto se adjunta una fotografía de la estratigrafía.

Microscopía Electrónica de Barrido y Microanálisis con un detector de Rayos X

El estudio de lleva a cabo directamente sobre la muestra incluida en la resina. Para ello se efectúa un sombreado con carbono para dotarla de conductividad.

Gracias a la imagen obtenida con el detector de electrones retrodispersados (Backscattered electron) se puede obtener una imagen de la muestra en la que la gradación de los grises es función de su número atómico Z. Asimismo, permite la observación de la morfología de la muestra y de las diversas formaciones cristalinas de la misma (fig. 4).

Con la combinación del Microscopio Electrónico de Barrido y la Microsonda de Rayos X, podemos conseguir un análisis elemental cualitativo y semicuantitativo en un área de unas pocas micras. Esto nos permite obtener la composición elemental de una capa pictórica o bien realizar el análisis puntual de un grano o partícula determinada (figura 5).

Análisis Microquímicos

Aunque, poco a poco, los ensayos microquímicos están siendo sustituidos por métodos instrumentales más rápidos y precisos, todavía resultan de gran utilidad para detectar compuestos que se encuentran en pequeña proporción (dada la gran sensibilidad de estos ensayos específicos) así como para confirmar los resultados obtenidos por otras técnicas.

El estudio se realiza bajo el microscopio estereoscópico y/o el microscopio óptico sobre pequeños fragmentos de muestra o bien directamente sobre el corte estratigráfico.

La reacción de reconocimiento se realiza, normalmente, en disolución, por lo que es necesario llevar a cabo un ataque de la muestra que nos permita solubilizarla o al menos permita liberar los iones constitutivos de la misma que nos interesan.

Las reacciones de reconocimiento se basan normalmente en la formación de un compuesto coloreado, la insolubilización de un precipitado, la formación de un compuesto cristalino característico o en el desprendimiento de un gas.

Una aplicación práctica: el Estudio analítico del Cristo de la Humildad y Paciencia

El Cristo de la Humildad y la Paciencia, de la Hermandad de la Cena, es una imagen devocional de la escuela Sevillana de finales del S.XVI o principios del XVII y de estilo tardo manierista. Representa a Cristo sentado en una roca en actitud pensativa, despojado de sus vestiduras y apoyando su cara en la mano izquierda.

Esta imagen está realizada sobre un soporte mixto de madera y telas encoladas y policromada. Sus dimensiones son 100 x 88 x 46 (h x a x p).

Estudio Analítico

La imagen presenta varias policromías; el número de estratos varía según la localización de la muestra. En las carnaciones es donde se encuentran mayor cantidad de capas presentando las muestras diferente estratigrafía según la parte del cuerpo de la que se ha extraído; a continuación, veremos algunos ejemplos más representativos:

- En la estratigrafía (CSC4), correspondiente a la **carcación del pecho** del Cristo se observan dos poli-



6 y 7. Descripción y localización de las Muestras.

CSC-1	Blanco verdoso; sudario, parte posterior
CSC-2	Rojizo; espalda
CSC-3	Blanco; sudario, parte posterior
CSC-4	Carnación; pecho
CSC-5	Carnación rojiza; rodilla derecha
CSC-6	Carnación oscura; rostro
CSC-7	Carnación; parte posterior del muslo izquierdo
CSC-8	Negro; peana
CSC-9	Trozo de tela del soporte; interior; pantorrilla izquierda
CSC-10	Marrón; cabellos
CSC-11	Fragmento de fibras del sudario

cromías; se aprecia la ausencia de capa de preparación de la primera policromía, por no haberse extraído completa la muestra. La secuencia de estratos observada, de interior a exterior, es la siguiente (fig. 8):

1 Capa de color rosado, constituida por blanco de plomo y tierra roja. Tiene un espesor superior a 50 μ .

2 Capa de color ambar, de naturaleza orgánica. Tiene un espesor inferior a 5 μ .

3 Capa de color blanquecino, constituida por sulfato cálcico y cola. Su espesor oscila entre 60 y 95 μ .

4 Capa de color rosado, con escasos granos rojos, constituida, fundamentalmente, por blanco de plomo. Su espesor oscila entre 20 y 25 μ .

• En la estratigrafía correspondiente a la **rodilla derecha** (CSC-5) de la imagen, se observa la sucesión de numerosísimos estratos; en ella, se alternan las capas de color rosado de las carnaciones con capas de color rojizo de la sangre. También se observan algunas capas de origen orgánico separando capas pictóricas, que, probablemente, se tratan de restos de barniz y/o capas aislantes de cola. La sucesión de estratos (fig. 9) es la siguiente:

1 Capa de color rosado, constituida por blanco de plomo y bermellón. Su espesor es superior a 45 μ .

2 Capa de color marrón y origen orgánico. Su espesor oscila entre 80 y 100 μ .

3 Capa de color rojo, constituida por blanco de plomo, bermellón y tierra roja. Su espesor oscila entre 25 y 60 μ .

4 Capa de color blanquecino, constituida, fundamentalmente, por blanco de plomo. Su espesor oscila entre 45 y 60 μ .

5 Capa de color rojizo, constituida por bermellón mezclado con blanco de plomo. Su espesor oscila entre 20 y 65 μ .

6 Capa de color ambar y origen orgánico. Su espesor es inferior a 5 μ .

7 Capa de color rosado, con escasos granos rojos, constituida por blanco de plomo y pequeñas cantidades de bermellón y tierra roja. Su espesor oscila entre 20 y 95 μ .

8 Capa de color rojo, constituida por bermellón y blanco de plomo. Su espesor oscila entre 10 y 30 μ .

9 Capa discontinua, de color marrón, compuesta por tierras, negro de hueso y blanco de plomo.

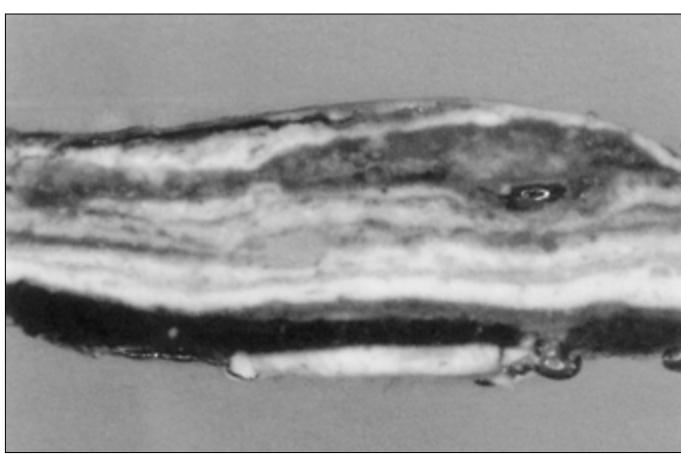
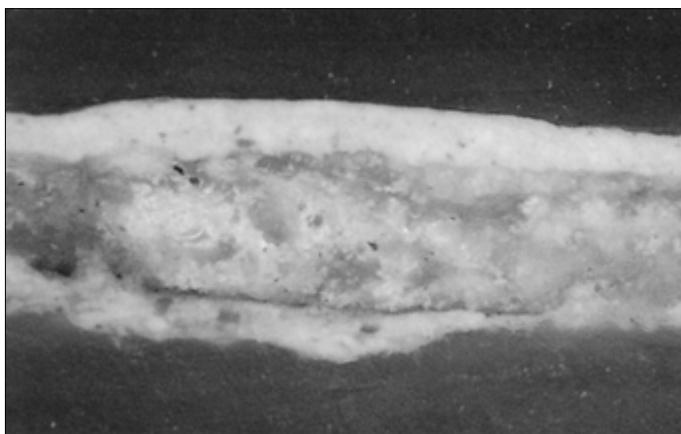
10 Capa de color rojo naranja, constituida por blanco de plomo y bermellón. Su espesor oscila entre 10 y 30 μ .

11 Capa de color marrón y origen orgánico. Su espesor oscila entre 0 y 20 μ .

12 Capa de color blanquecino, constituida por blanco de plomo. Su espesor oscila entre 30 y 45 μ .

13 Capa de color rojizo, constituida por blanco de plomo y tierra roja. Su espesor oscila entre 25 y 45 μ .

14 Capa de color blanquecino, con algunos granos azules y rojos, compuesta por blanco fijo, blanco



8. Microfotografía de la sección transversal de la muestra.
Magnificación (200x), luz reflejada en campo oscuro.

9. Microfotografía de la sección transversal de la muestra.
Magnificación (50x), luz reflejada en campo oscuro.

de plomo y azul ultramar. Su espesor oscila entre 30 y 60 μ .

15 Capa de color ambarino, compuesta por sulfato cálcico aglutinado con cola animal. Su espesor oscila entre 115 y 190 μ .

16 Capa de color blanquecino, con escasos granos rojos, compuesta por blanco de plomo y tierra roja. Su espesor oscila entre 20 y 35 μ .

17 Capa de color rosa, constituida por blanco de plomo, blanco fijo y tierra roja. Su espesor oscila entre 0 y 60 μ .

18 Capa de color marrón y naturaleza orgánica, probablemente, barniz.

• La muestra tomada en el **rostro**, (CSC-6) en la frente, presenta la siguiente estratigrafía (fig. 10):

1 Capa de color rosado, constituida por blanco de plomo y escasos granos de bermellón. Tiene un espesor superior a 15 μ .

2 Capa de color marrón y origen orgánico. Su espesor oscila entre 10 y 25 μ .

3 Capa de color blanquecino, constituida, fundamentalmente, por blanco de plomo. Su espesor oscila entre 20 y 25 μ .

4 Capa de color rojizo, constituida por bermellón y blanco de plomo. Su espesor oscila entre 20 y 30 μ .

5 Capa de color blanquecino, constituida, fundamentalmente, por blanco de plomo. Su espesor oscila entre 20 y 45 μ .

6 Capa de color rojo, constituida por bermellón mezclado con blanco de plomo. Su espesor oscila entre 25 y 35 μ .

7 Capa de color blanquecino, constituida, fundamentalmente, por blanco de plomo. Su espesor oscila entre 20 y 35 μ .

8 Capa blanquecina, con granos azules, rojos y negros, compuesta por blanco de plomo, blanco fijo, ultramar y negro de carbón. Su espesor oscila entre 40 y 50 μ .

9 Capa de color rojizo, discontinua. Su composición no se ha podido detectar debido a su pequeño tamaño. Su espesor oscila entre 0 y 20 μ .

10 Capa de color rosado con escasos granos rojos, constituida por blanco de plomo y bermellón. Su espesor oscila entre 25 y 60 μ .

• La muestra correspondiente a los **cabellos** (CSC10) (fig. 11) presenta únicamente dos capas:

1 Capa de preparación blanquecina, constituida por sulfato cálcico y cola. Tiene un espesor superior a 250 μ .

2 Capa de color marrón, compuesta por tierras, carbón animal y blanco de plomo. Su espesor oscila entre 20 y 25 μ .

CONCLUSIONES

Los estudios analíticos realizados nos permiten llegar a las siguientes conclusiones:

• La imagen está realizada sobre un soporte de tela encolada. El tejido empleado en toda la figura es de lino; no ocurre lo mismo, con el paño de pureza, donde el tejido es algodón. La peana es de madera, de tipo resinoso, y esta constituido por varias piezas.

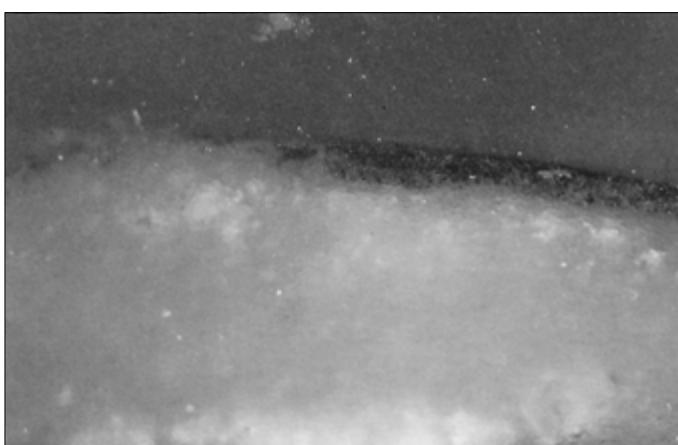
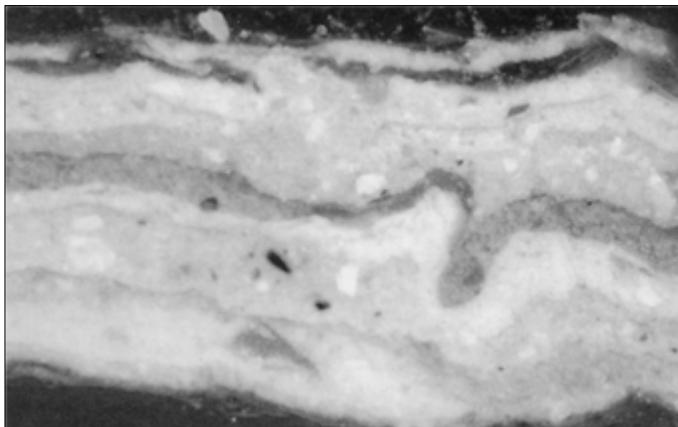
• La preparación, aplicada directamente sobre la tela encolada, esta compuesta por sulfato cálcico aglutinado con cola animal. El espesor de esta capa es muy grueso, alcanzando, en el caso del paño de pureza, 1.6 mm. En el resto de la figura, el espesor oscila entre 100 y 200 μ .

• La figura presenta, como hemos visto, diversas políchromías; estas se superponen, en la mayoría de los casos, directamente, sin capa de preparación intermedia. La mayoría de las carnaciones están compuestas por blanco de plomo mezclado con pequeñas cantidades de bermellón y/o tierra roja.

También se han encontrado, en ocasiones, diferentes capas de color rojizo, simulando sangre, compuestas por bermellón mezclado con blanco de plomo. En algunas de las capas de policromía más recientes se detecta blanco fijo (sulfato de bario) pigmento que se comenzó a utilizar a partir de la segunda mitad del siglo XVIII.

- El color blanco del paño de pureza está constituido por blanco de plomo.
- El color marrón de los cabellos esta compuesto por la mezcla de tierras o sombra, carbón animal y blanco de plomo.
- La peana, de color oscuro, presenta tres policromías diferentes, estando constituidas dos de ellas por blanco de plomo, sombra tostada y verde de cobre. La última capa es una mezcla de sombra tostada y blanco de plomo.
- Los pigmentos identificados han sido los siguientes :

Blancos:	blanco de plomo, blanco fijo
Rojos:	bermellón, tierra roja
Marrones y pardos:	tierras, sombra, sombra tostada
Verdes:	verde de cobre
Azules:	ultramar, azurita
Negros:	carbón animal



Bibliografía

MATTEINI, M.; MOLES, A. *Scienza e restauro. Metodi di indagine*. Nardini Editores.

ELZINGA-TER HAAR, G. On the use of the electron microprobe in analysis of cross- sections of paint sample. *Studies in Conservation*, Vol.16, No.2, pag.41, 1971.

PLESTER, JOYCE. Cross-sections on Chemical Analysis of Paint Samples. *Studies in Conservation*, Vol.2, No.3, pp 110-157, 1956.

GÓMEZ GONZÁLEZ, Mª L. *Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte*. Ministerio de Cultura, Instituto de Conservación y Restauración de B.B.C.C., 1994.

VILLAVECCIA, V. *Química Analítica Aplicada*, Tomo II. Ed. Gustavo Gili S.A., Barcelona, 1963.

STOLOW, N.; HANLEN, J.F.; BOYER, R. Element distribution in cross-sections of painting studied by the x-ray macroprobe. *Studies in Conservation*, Vol.14, pag.139, 1969.

KOCKAERT, L. *Nieuwe vervaardiging van microscopische doorsneden in verfmonsters*. Bull. I.R.P.A., XIV, pp 118-120, 1973/74.

10. Microfotografía de la sección transversal de la muestra. Magnificación (200x), luz reflejada en campo oscuro.

11. Microfotografía de la sección transversal de la muestra. Magnificación (200x), luz reflejada en campo oscuro.