

USO DE LA LUZ ULTRAVIOLETA PARA EL ESTUDIO DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA PINTURA DE CABALLETE

**Laura Alba Carcelén
Ana González Mozo
Gabinete de Documentación Técnica
Departamento de Restauración
Museo Nacional del Prado**

INTRODUCCIÓN

La fluorescencia inducida por la luz ultravioleta es una técnica muy empleada en el campo de la conservación-restauración, gracias a su accesibilidad y fácil manejo. Aunque se han escrito varios ensayos sobre este tema, pensamos que es interesante analizar la metodología de trabajo para profundizar en la interpretación de la documentación generada. Proponemos una revisión del método e incidimos en la importancia para su correcta comprensión, de recurrir a los análisis comparativos con la reflectografía infrarroja, la radiografía y el examen de la superficie apoyado con imágenes digitales de alta resolución.

Las obras de arte sufren alteraciones que transforman algunos de sus elementos constitutivos. Estas alteraciones requieren intervenciones en las que se introducen materiales extraños a los originales, cuya evolución es diferente, reconociéndose en ocasiones a simple vista. Cuando se han integrado visualmente con la obra se pueden distinguir mediante su estudio con distintas fuentes de radiación.

Analizando minuciosamente los registros que se obtienen, primero de forma aislada y luego conjunta, se extraen más datos de los que aparentemente revelan. La metodología de trabajo debe incrementar su percepción y permitir comparaciones fiables, para llegar a entender la compleja relación entre la estructura material de la obra y las múltiples interpretaciones de las imágenes, teniendo en cuenta la radiación electromagnética utilizada en el ensayo, el sistema de reproducción y la experiencia de los observadores.

Las técnicas que empleamos se basan en el comportamiento de los materiales cuando inciden en ellos radiaciones pertenecientes a distintos intervalos del espectro electromagnético: visibles o invisibles. En este campo trabajamos con la reflectografía infrarroja, el examen con luz visible y con diferentes grados de aumento, la luz ultravioleta y la radiografía. Son métodos de análisis físico, cuyo objetivo consiste en llegar a conocer, además de aspectos técnicos de la ejecución y constitución material de la obra, la amplitud y localización de algunas alteraciones.

La luz está formada por partículas de energía (fotones) que se propagan en el espacio. En función de esta energía, la radiación electromagnética (REM) se define por su longitud de onda(1). La radiación de cierta longitud de onda está asociada a una energía definida, que es inversamente proporcional a ella. Se denomina espectro electromagnético a la ordenación de las ondas electromagnéticas en función de su longitud de onda. De acuerdo con el instrumental de medida se han establecido unos límites entre las regiones espectrales. De todas ellas, las habitualmente empleadas en el examen de la pintura de caballete son: rayos X (desde 0.01nm hasta 10nm); ultravioleta (10nm-380nm); visible (380nm-780nm); infrarrojo (780nm-1mm).

Cuando la radiación incide en las obras, simultáneamente tienen lugar fenómenos de reflexión, absorción y transmisión. La intensidad con la que se produce cada fenómeno depende tanto de la naturaleza de los materiales como de la energía de la radiación incidente. Si la fuente de radiación y el sistema de registro se sitúan delante de la superficie a analizar, se recogen los datos de la reflexión y la absorción de los materiales. Si el sistema de registro se coloca detrás de la superficie a analizar, se obtienen los datos de la transmisión.

FLUORESCENCIA VISIBLE INDUCIDA CON LUZ ULTRAVIOLETA

La fluorescencia visible inducida con luz ultravioleta se define como el fenómeno físico que se produce cuando los átomos que constituyen las moléculas de los materiales, absorben la energía de la radiación ultravioleta, excitándose los electrones de sus órbitas interiores a niveles energéticos más altos. Esta excitación cesa rápidamente y estos electrones vuelven al nivel de origen, transformándose el exceso energético en otras formas de menor energía, como vibración y emisión de radiación electromagnética de longitud de onda más larga que la incidente y dentro del espectro visible (fluorescencia).

Para este estudio hemos utilizado lámparas de Wood con tubos fluorescentes Sylvania Blacklight Blue F36 W-BLB(2). Son lámparas de vapor de mercurio que emiten principalmente radiación ultravioleta de onda larga (aprox. 300 a 400 nm). La respuesta visible se ha registrado con una cámara fotográfica NikonF3 con objetivo Micro Nikkor de 60mm, adaptándose diferentes filtros Kodak (Wratten2B, dos W2B, CC50Y y W2B combinado con CC50Y)(3), y utilizando diapositiva color (Kodak Ektachrome EPN) y negativo blanco y negro (TMAX Kodak 100 pro)(4). Se ha estudiado qué filtros y qué película fotográfica son los más adecuados para que la imagen reproducida sea lo más parecida a lo que se ve en la práctica y para determinar si algún registro incrementa la información percibida. Las pruebas se han efectuado sobre dos obras pertenecientes al Museo del Prado *La Frutera*, de Frans Snyders (cat.P-1757) y *Piedad*, de Daniele Crespi (cat.P-128). Comparando las imágenes obtenidas con los filtros y luego sin ellos se extraen las siguientes conclusiones:

1.-Imágenes en blanco y negro. (**Figura 1**)

a.- Sin filtro. No aporta información. El exceso de radiación UVA que llega a la película interfiere en la respuesta de la fluorescencia visible, vela los datos e introduce un alto nivel de ruido, obteniéndose una imagen muy poco nítida.

b.- Filtros W2B. Adaptando uno o dos filtros, el registro es similar, aunque el contraste es mayor al colocar dos. Al filtrarse la radiación UVA el ruido se elimina aumentando la nitidez.

c.- Filtro CC50Y. Sólo filtra el componente azul de la luz visible, pero no la radiación UVA, por lo que en la imagen se introduce, como en el primer caso, una gran cantidad de ruido.

d.- Hay datos que se pierden en la fotografía en blanco y negro, ya que distintos colores al ser pasados a gris, adquieren el mismo aspecto, hecho más evidente si se trata de matices muy sutiles.

2.-Imágenes en color. (**Figura 2**)

a.- Sin filtro. Se obtiene una respuesta poco intensa de la capa de barniz y de los estratos subyacentes. El exceso de radiación ultravioleta hace reaccionar la emulsión, obteniéndose una imagen con predominante azul, que vela parte de la información.

b.- Filtros W2B. Las imágenes tienen gran nitidez, tanto si se utilizan uno como dos filtros. El registro es el más próximo a la visión humana, al recoger únicamente la respuesta visible. Es la idónea para estudiar el cromatismo de la capa pictórica y los retoques. También ofrece datos importantes sobre el estado de la capa de protección.

c.- Filtro CC50Y. Es el más adecuado para analizar el estado de la capa de barniz, ya que intensifica la respuesta de los amarillos.

d.- Filtro W2B con filtro CC50Y. En este caso se filtra tanto la radiación ultravioleta como la porción azul del espectro. Aparecen combinados datos sobre la pintura y el barniz, de manera que la interpretación de la imagen es más compleja, pudiéndose confundir los restos de barniz con el amarillo de la capa pictórica (**Figura 3**).

En la pintura de caballete esta técnica se aplica al estudio de la capa de barniz, pudiéndose establecer si es gruesa, si hay irregularidades en su distribución o antiguos procesos de limpiezas selectivas. Además permite reconocer intervenciones ajenas a la pintura original e identificar y ubicar repintes gracias a la diferente fluorescencia – respecto a la de los originales- de los aglutinantes, de los pigmentos y de la unión de ambos. También podemos llegar a determinar su profundidad respecto a la capa más externa de barniz. Del examen conjunto se deduce que cuando se ven los repintes, su existencia es real, pero el que no se vean no significa que no existan, ya que podrían hallarse tras un barniz de fuerte fluorescencia, o que la fluorescencia del repinte sea muy similar a la del entorno.

La intensidad y los matices de color de la fluorescencia dependen de numerosas variables, de ahí que lo más eficaz sea que cada grupo de trabajo realice sus propios ensayos para evaluar la respuesta de los materiales a su equipo concreto. En algunos casos las conclusiones

podrán ser extrapoladas a los resultados obtenidos por otros grupos, pero siempre teniendo en cuenta las variables de cada sistema. Al margen del dispositivo utilizado, la fluorescencia está determinada por el aglutinante empleado, el pigmento o pigmentos, y la mezcla de ambos, tanto en la proporción como en el grado de interacción que se establece entre ellos con el paso del tiempo. En la interpretación de los resultados hay que tener presentes una serie de premisas: el envejecimiento químico de un material desencadena procesos de oxidación y polimerización que conllevan un aumento de su fluorescencia, los compuestos orgánicos tienen una fluorescencia muy superior a los compuestos inorgánicos, existen pigmentos fluorescentes por sí mismos y otros que actúan como inhibidores o inductores de la fluorescencia en determinados aglutinantes, la intensidad de la fluorescencia depende del espesor del estrato, y por último, un material fluorescente se apreciará mejor si su entorno no es fluorescente y viceversa.

Hay varios ensayos de laboratorio que recogen la respuesta de patrones de pigmentos puros a la luz ultravioleta. El realizado por René de la Rie en 1982(5), concluye que la mayoría de los pigmentos tienen una fluorescencia muy leve (ocres, sienas, tierra verde, negro de hueso, azul de Prusia, azurita, malaquita, verdigris, resinato de cobre, viridiana, minio, blanco de plomo y blanco de titanio) y que sólo algunos presentan una fuerte fluorescencia (blanco de zinc, amarillo de cadmio, anaranjado de cadmio, rojo de cadmio y granza genuina).

En cuanto a los aglutinantes, la goma arábiga tiene una fluorescencia muy baja, por lo que las zonas donde esté presente este material se traducirían en áreas oscuras y opacas. Las resinas naturales, por ejemplo almáciga y dammar, tienen una fluorescencia muy elevada, y su respuesta en la imagen se observaría como un tono claro y brillante. Durante este estudio también hemos comprobado que la colofonia y la goma-laca tienen una respuesta intensa. Finalmente, si se utiliza el aceite como aglutinante, en el caso de los retoques, es determinante el envejecimiento del material. En la práctica hemos constatado que en algunos repintes antiguos, se obtiene una respuesta muy similar a la de la pintura original. Este comportamiento puede ser debido a la existencia de una capa fluorescente que los cubra o bien a que con el tiempo, la capacidad de fluorescencia se va ralentizando, pudiendo acercarse el nivel en materiales similares empleados en distinto momento.

En los resultados que se observan sobre obra real, los pigmentos modifican enormemente el comportamiento de la sustancia con la que están aglutinados(6), tal como se ha observado en *La Frutera*, de Frans Snyders, en la que, tras una primera limpieza, se ha podido estudiar la respuesta de la pintura sin la interferencia que produce el barniz. Por ejemplo, se ha constatado que, el blanco de plomo es uno de los pigmentos que, sin tener una fluorescencia propia elevada, es capaz de inducirla con fuerza en el aceite de linaza, apareciendo en

todos los casos examinados como blanco-azulado muy intenso. En el resto de las tonalidades de la capa pictórica se aprecia, en general para casi todos los colores, que cuanto mayor es la cantidad de blanco de plomo en la mezcla, mayor es su fluorescencia. Muy diferente es la respuesta de las pinceladas aplicadas con verdes que llevan cobre en su composición, ya que estos materiales no tienen fluorescencia (acercándose su color al negro), llegando a confundirse en algunos casos con repintes recientes. También se ha observado que, zonas de finas pinceladas con un alto índice de fluorescencia, por su escaso espesor, permiten la visión de formas subyacentes realizadas con este verde, que no la tienen, hecho que ha permitido confirmar que estas áreas más oscuras no eran retoques posteriores (**Figura 4**). En estos casos la comparación con el visible para estudiar las formas y trazos resulta esencial.

REFLEXIÓN ULTRAVIOLETA

No debe confundirse la fluorescencia con la reflexión ultravioleta que utiliza la misma luminaria, pero registra la radiación ultravioleta que reflejan los materiales. Existen equipos específicos para fotografiar esta información no visible(7). Esta técnica no se emplea habitualmente para el análisis de obras de arte, aunque consideramos interesante estudiar qué tipo de información proporciona. Con un ensayo sencillo se ha comprobado que la imagen generada es de distinta naturaleza a la obtenida por fluorescencia(8). En un primer acercamiento se ha constatado que mientras en la fluorescencia se eliminan los datos sobre la textura y el relieve de la superficie, en la reflexión se acentúan estas propiedades. El barniz no eliminado se ve de color negro intenso y sin embargo, su fluorescencia es verde lechosa. Lugares en los que la capa de barniz es más fina, aparecen en reflexión como negros más transparentes, que incluso permiten ver el estrato subyacente. Tras la limpieza, en puntos en los que ya no se aprecia fluorescencia, la reflexión revela posibles restos de barniz, con aspecto de veladura negra(9).

ESTUDIO COMPARATIVO

Con motivo de la restauración de *La Piedad* de Daniele Crespi, se ha hecho un estudio técnico completo de la obra. Pintado al óleo sobre lienzo, fue realizado hacia 1626. Se halla firmado en el lateral derecho entre la rodilla de Cristo y la jarra “DANIELE CRISPI. OP.” Fue adquirido en la almoneda del marqués del Carpio de 1689, pasando a formar parte de la Colección Real.

El análisis con luz ultravioleta de esta obra planteó una serie de dudas que se intentaron resolver a través de un examen comparativo con otros documentos técnicos, especialmente con macrofotografías, reflectografía infrarroja, radiografía y la posterior digitalización de estas imágenes a alta resolución, recurriendo al análisis químico para confirmar algunos datos.

Al observarlo con luz visible parecía un cuadro muy dañado, e intervenido en varias ocasiones. Parte de su estado se entiende si tenemos en cuenta que fue rescatado del incendio del Alcázar de 1734(10). Está reentelado y le fueron colocadas bandas cuyo ancho oscila entre 9 y 12 cm. en los cuatro laterales, a modo de injerto. Estos añadidos se aprecian a simple vista, ya que entre ellos y la obra original hay un desnivel, además de un cambio de textura y distinto craquelado. Estas bandas estarían repintadas, por una parte para igualar su color con el fondo y por otra para rehacer y completar elementos figurativos (ala del ángel, jarra y tela). Sin embargo, así como en estos elementos existen notables diferencias de técnica con el original (gesto, matices cromáticos, textura), en el repinte de las partes más oscuras, no se aprecian estas discontinuidades. El estudio visual hace pensar que, además de los daños sufridos, en la capa pictórica se ha realizado una limpieza que ha desgastado las zonas más claras de las carnaciones, dejando prácticamente intactas las partes más oscuras; confundiéndose parte del manto, la túnica de la Virgen y el ángel con la oscuridad del fondo, alterando hasta cierto punto el sentido original de la representación.

Tras esta primera aproximación, se examinó la superficie con luz ultravioleta. La respuesta del barniz aportó información de difícil interpretación: existía una gran diferencia entre la fluorescencia del fondo y la de la escena principal. Una zona de baja fluorescencia y poco uniforme se extendía desde los bordes -incluido el repinte de las bandas añadidas- hasta las figuras haciendo que éstas aparecieran recortadas. En ellas, la fluorescencia era mucho mayor y más heterogénea, apreciándose en muchas zonas una gruesa capa de barniz de apariencia lechosa. Este fenómeno era irregular en el cuerpo de Cristo, observándose lugares de fuerte fluorescencia, principalmente en las sombras, y otros de respuesta muy débil o casi nula, correspondiéndose con áreas de limpieza excesiva.

A primera vista, la menor fluorescencia del fondo podía deberse a una limpieza selectiva del barniz que habría respetado las figuras, e intentado sacar a la luz algunas formas cuya visión estaba empañada. Esta posibilidad resultaba incoherente si se tiene en cuenta la secuencia lógica de un proceso de restauración (principalmente en lo que se refiere a la limpieza y barnizado de la obra). Resulta más probable pensar que, en algún momento se aplicara una capa de pintura oscura, extendiéndose hasta el contorno de las figuras y la firma, de manera que se realizara su presencia y se potenciara el efecto de claroscuro. Incluso cabe la posibilidad de que esta capa esté disimulando desgastes en el fondo. Pensamos que la menor respuesta del fondo se debe a que el barniz fluorescente que vemos en las figuras, se encuentra debajo de la capa oscura. La mayor intensidad de la fluorescencia de las zonas en sombra de los cuerpos y paños es consecuencia de que se han limpiado menos, acumulándose en ellas varios estratos de barniz. La limpieza más profunda, que ha eliminado prácticamente toda la superficie de protección, afecta a la parte más iluminada de las carnaciones y las

telas blancas. Por último, este documento puso de manifiesto la presencia de numerosos repintes que hacían pensar en grandes pérdidas de capa pictórica. La extensión y la profundidad de estos repintes y retoques se han podido interpretar con más claridad gracias al estudio conjunto de la fluorescencia inducida con luz ultravioleta y la reflectografía infrarroja(11) (**Figura 5**).

La reflectografía infrarroja es una técnica que se utiliza habitualmente para el examen del dibujo subyacente, sin embargo tras este estudio, hemos corroborado la importancia que puede llegar a tener para realizar otras apreciaciones como son, alteraciones en la capa pictórica e intervenciones de restauración(12). Examinando minuciosamente la reflectografía se comprobó que, al hacerse transparentes la suciedad y los barnices, se obtenía una mejor visibilidad de otros aspectos de la obra. Lo primero que nos llamó la atención fue la desaparición de la visión de la mayoría de los retoques, y que sólo había estucos en zonas muy limitadas. Esto demostró que las pérdidas de capa pictórica son mucho menores de lo que ‘a priori’ se pensaba y que los retoques cubren parte de la pintura original. Es verdad que este examen nos ha permitido descubrir pinceladas ocultas a una observación directa, llegándose incluso a distinguir contornos y formas apenas perceptibles, pero ¿se verían una vez limpio el cuadro? En realidad no sabemos, en este caso cuántas capas está traspasando. Fue reveladora la información obtenida en el manto de la Virgen, ya que descubrimos un gran movimiento y detalle en los pliegues, aspectos que pertenecen a capas subyacentes. En este punto hay que considerar que no todo el estrato se hace transparente o absorbe radiación, sino que en función de la distribución de los materiales, en la imagen veremos combinada la información referente a distintas zonas de diferentes capas. Por eso es imprescindible que el examen de los documentos proporcionados por la reflectografía se realice junto al original, teniendo en cuenta que la no visibilidad de alguna capa o matiz no significa su ausencia, sino que, o bien se hace transparente a esta radiación o bien hay alguna capa superpuesta o interpuesta que absorbe o refleja los infrarrojos e impide su penetración hasta los elementos subyacentes. De ahí que su interpretación sea compleja.

A través de la reflectografía infrarroja se afianzó la idea de la existencia de la mencionada materia oscura que cubre gran parte del fondo, bordeando la escena principal. Esta capa absorbe intensamente la radiación infrarroja, salvo en algunas zonas próximas a las figuras, en las cuales pueden verse pinceladas correspondientes a las capas subyacentes(13). Para comprobar la existencia de este repinte oscuro que cubre gran parte del fondo - enmarcando a las figuras- y, la presencia de un barniz de elevada fluorescencia bajo éste, recurrimos al análisis estratigráfico. La sucesión de capas confirmó la existencia de esta gruesa capa de barniz y varios repintes.

En la radiografía se ha comprobado que el formato que presenta la obra en la actualidad no es el original, ya que se aprecia en todo el perímetro y en el centro la marca del canto interno de los travesaños del bastidor original, que tendrían un ancho aproximado de 7cm. Esto confirma que las dimensiones originales serían de $\pm 150 \times 125$ cm y que las bandas añadidas están alterando el tamaño inicial e incluso el espacio de la representación, en origen más íntima y recogida(14).

El documento radiográfico aportó datos importantes respecto al estado de conservación de la obra y la profundidad y extensión de los daños, confirmando lo ya se había visto con el infrarrojo: que las lagunas son menores de lo que parece en el examen con luz visible y ultravioleta y que se limitan prácticamente a los bordes originales, coincidiendo con el ancho de los travesaños, ocasionadas posiblemente por una humedad excesiva en la madera del bastidor. Se han detectado pérdidas en la costura y en zonas muy puntuales en el cuerpo de Cristo. Con ambas técnicas se ha observado otro daño, en forma de pequeños orificios de bordes suaves (negros en la radiografía y grises en el infrarrojo), cuya naturaleza está aún por determinar, situados fundamentalmente en la mitad inferior de la obra, y que pueden ser la causa de parte de los retoques realizados en la superficie (15). Sin embargo, la radiografía no aportó nuevos datos respecto al repinte negro que cubre gran parte del fondo. Esto se debe a que la preparación tiene una absorción elevada mientras que la capa negra tiene una baja absorción, la suma de estas dos condiciones impide la visión de esta última.

Finalmente, para el conocimiento de la obra y de su estado de conservación ha sido de gran apoyo el examen de la superficie con imágenes digitales de alta resolución. Nos ha permitido corroborar que gran parte de los repintes han sido realizados sobre la capa pictórica, en áreas muy desgastadas o cubriendo craqueladuras. Los desgastes se ponen de manifiesto con mayor claridad, ya que se ven veladuras interrumpidas y puntos en los que asoma la preparación. También se observa que la limpieza fue tan profunda que barrió parte de la pintura del borde añadido, pudiéndose ver la tela del injerto.

El grado de deterioro de la capa pictórica y la presencia de un repinte negro en el fondo se han podido establecer gracias al estudio conjunto de todos los documentos. A través de ellos se deduce que los daños afectan fundamentalmente a las capas pictóricas más superficiales, hallándose la estructura interna de la obra en buen estado (**Figura 6**).

CONCLUSIONES

1.- En relación al método de registro de la fluorescencia inducida con luz ultravioleta:

- Los mejores resultados para el estudio de repintes, retoques y capa pictórica se han obtenido utilizando el filtro Kodak W2B.

- Para el análisis de la capa de protección recomendamos el uso del filtro CC50Y, ya que intensifica la respuesta del barniz.
- Sugerimos emplear película en color porque en blanco y negro no se registran determinados datos sobre el cromatismo y la intensidad de la fluorescencia de los materiales.
- No aconsejamos trabajar sin filtro, debido a que el ruido e interferencias que se introducen en la imagen son elevados.

2.- Algunas observaciones sobre la fluorescencia de los propios materiales de una obra:

- Se ha comprobado que las zonas de la superficie pictórica que tienen mayor proporción de blanco de plomo en su mezcla, muestran mayor fluorescencia, debido a que este material induce una fuerte fluorescencia en el aceite de linaza en la pintura al óleo.
- Otras zonas en las que están presentes pigmentos de cobre que no poseen fluorescencia en sí mismos ni la inducen en el aglutinante, aparecen oscuras y con una respuesta similar a la de algunos repintes. De este modo, si sólo se tiene en cuenta el resultado de la fluorescencia, podrían llegar a confundirse pinceladas originales con retoques.

3.- De la reflexión ultravioleta, técnica que se está empezando a estudiar de cara a sus posibles aportaciones para el estudio del estado de conservación de las obras y el seguimiento de las limpiezas, se extraen dos conclusiones básicas: aporta información sobre la textura de la superficie y, por otra parte, al registrarse en negro la respuesta del barniz, ofrece datos importantes en cuanto a su distribución.

4.- El examen de la imagen visible y la fluorescencia inducida por luz ultravioleta han permitido comprobar:

- La distribución irregular de la capa de barniz, mostrando la existencia de capas más gruesas en las zonas de sombra de la escena principal.
- La capa pictórica en áreas más iluminadas está muy desgastada y prácticamente no queda barniz en ellas.
- La presencia de un repinte oscuro sin fluorescencia, sobre gran parte del fondo y bordeando las figuras. Este dato se ha corroborado con la reflectografía infrarroja y el análisis estratigráfico.

5.- El examen de la reflectografía infrarroja y la radiografía han revelado la verdadera extensión y profundidad de los retoques, que cubren parte de la pintura original, estando las lagunas limitadas a áreas muy concretas. A través de la radiografía se pudo comprobar también la dimensión original de la obra.

6.- Finalmente, queremos insistir en que, independientemente de la técnica empleada, cuando cierta información no aparece reflejada en un documento, no implica forzosamente que no exista; es posible que no podamos registrarla con los equipos que estamos utilizando actualmente.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la dedicación y el buen hacer de José Loren y a la ayuda de M^a Dolores Gayo. También queremos expresar nuestro agradecimiento a: José Baztán, Amaya Gálvez, Jaime García Maíquez, Carmen Garrido, Maite Jover, Inmaculada Echeverría, María López-Fanjul, Alberto Otero, Víctor Raposeiras, Pilar Sedano y Andrés Úbeda de los Cobos.

NOTAS FINALES

- (1) Unidad de medida: metro o sus submúltiplos (mm=0,001 m; micron: 1 μ m=0,001mm y el nanómetro 1nm=0,001 μ m).
- (2) Los tubos BLB, eliminan la luz visible que emite la lámpara gracias a que está revestido por un filtro interno, constituido por sustancias que se añaden en el momento de su fabricación.
- (3) El filtro W2B impide el paso de la radiación ultravioleta, mientras que el CC50Y absorbe el componente azul del espectro visible, intensificando la respuesta de los amarillos.
- (4) Actualmente se está extendiendo el empleo de sistemas digitales para recoger la respuesta de la fluorescencia. Hemos observado que la información contenida en estas imágenes es diferente, incluso cuando se colocan los filtros recomendados. Pensamos que este hecho se debe a que la información se capta a partir de impulsos eléctricos de distinta intensidad en función de la cantidad de luz que recibe y que se registran de manera digital y no química, saturándose el CCD.
- (5) Anteriores a éste estudio encontramos Eibner, A., Widenmayer, L., 1926 y Deribere, M., 1942. En el Catálogo de Conservación de Papel del American Institute for Conservation, se describe el color característico de la fluorescencia de algunos pigmentos ante la luz ultravioleta.
- (6) René De la Rie, 1982.
- (7) Cámara fotográfica de cuarzo especial para ultravioleta de 320 nm, película de B/N y filtro de luz visible y transmisión de ultravioleta (Kodak Wratten 18A).
- (8) Multispectral Imagine System. Musis 2007.
- (9) Aunque hemos podido comprobar que la reflexión de UV aporta una gran cantidad de información, estamos en una fase inicial del estudio.
- (10) Los cuadros presentes allí en el momento del incendio fueron salvados en condiciones extremas, llegándose incluso a cortarlos por la luz del marco para separarlos del bastidor. BEROQUI, P., «El Museo del Prado (Notas para su historia)», Madrid, 1933, I, p. 36-39.
- (11) Estos análisis se realizan en la pintura con radiaciones situadas en la franja del espectro del infrarrojo cercano (NIR, Near Infrared, entre 750nm y 3000nm aprox.) La respuesta que provoca en los materiales puede ser observada a través de distintos métodos y aparatos. Para una fuente emisora dada siempre se produce la misma respuesta por parte de los materiales, pero los datos obtenidos varían dependiendo de la longitud de onda de la banda infrarroja del espectro que sean capaces de registrar los sistemas utilizados (fotografía infrarroja o reflectografía infrarroja)
- (12) Los estudios efectuados y la bibliografía consultada llegan a concluir que las radiaciones IR cuya longitud de onda está comprendida entre los 1800–2000nm son las adecuadas para el tipo de estudios que proponemos, ya que la mayor parte de los estratos pictóricos utilizados en la pintura antigua se hacen transparentes ante ellas. La sensibilidad de los fotodiodos está limitada hasta niveles que llegan a los 1.7micrones, mientras que la de las videocámaras vidicon llega hasta los 2.1 micrones,

permitiendo trabajar en regiones del infrarrojo donde un mayor número de pigmentos se hacen transparentes. Sin embargo, la calidad de las imágenes registradas es menor, debido a que pierden contraste y resolución en el monitor de televisión y a que en éste se producen distorsiones ópticas y geométricas. Otro de los problemas que plantea el uso de vidicon es la persistencia de imagen. La menor sensibilidad a ciertas regiones del infrarrojo de los CCD se compensa con una serie de ventajas: no introducen distorsiones geométricas (son planos), y la resolución espacial es mucho mayor, por lo que las imágenes obtenidas son más nítidas y homogéneas, mejorándose el resultado en el ensamblaje de los fotogramas. El empleo de un sistema CCD nos está permitiendo avanzar en el análisis del estado de conservación. Actualmente trabajamos con un prototipo desarrollado por el Profesor Duilio Bertani, del Departamento de Óptica de la Universidad de Milán, puesto a punto con el fin de obtener imágenes infrarrojas de alta resolución y resolver los problemas planteados por las telecámaras tradicionales. Está constituido por un escáner IR, que lleva incorporado un sensor (InAsGa), que trabaja en la banda de longitudes de onda comprendida entre 1 y 1.7 micrones y captura imágenes de 4096 tonos de gris ya que la señal de salida es digitalizada mediante un conversor analógico/digital a 12 bits. La resolución espacial que se obtiene es de 4 pixeles/mm (16 puntos/mm²). Como fuente de iluminación utilizamos lámparas incandescentes de tungsteno de 24 voltios con filtro difusor, que tienen una alta emisión de radiación infrarroja. Uno de los factores determinantes en la homogeneidad de la intensidad general de cada reflectograma y de estos con los demás del conjunto, es la estabilidad de la fuente. Las oscilaciones de la luz se traducen en fuertes diferencias de tono entre los reflectogramas, dificultando la lectura de la imagen general. Es imprescindible trabajar con un estabilizador de corriente a la que va conectada la fuente y lograr uniformidad en la distribución de la iluminación que llega a la obra.

(13) La mayor penetración en estas zonas puede deberse, bien a que esta capa oscura no las cubre o bien a que el espesor de ésta sea muy leve.

(14) La radiografía se realizó con un equipo portátil de potencial constante marca *Seifert* modelo Eresco 160 con tubo de ventana de Berilio. La respuesta se registró en una placa de la marca AGFA Structurix D7 DW Rollpac de 30cm de ancho. Los parámetros de trabajo fueron 50Kv y 7mA a una distancia foco-película de 470cm y durante 1min30sg.

(15) Estas gotas se han detectado en otras obras de la Colección. Estamos estudiando su composición, ya que consideramos importante determinar si provocan algún tipo de daño en la superficie.

BIBLIOGRAFÍA

RENÉ DE LA RIE, E., «Fluorescence of paint and varnish layers», *Studies in Conservation*, Londres, 1982, 27, I, II y III, p. 1-7.

JOHNSTON-FELLER, R., «Color Science in the Examination of Museum Objects», *Tools for Conservation*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2001, p. 205-224.

Kodak España, [http:// www.Kodak.es](http://www.Kodak.es), 21/6/2005.

MATTEINI, M.; MOLES, A., «Scienza e Restauro. Metodi di indagine», Nardini Editore, Florencia, 1984.

CARDINALI, M.; DE RUGGIERI, M. B.; FALCUCCI, C., «Diagnostica artistica», Palombi Editori, Roma, 2002.

BERTANI, D. *et al.*, «Oltre il visibile. Indagini riflettografiche», Università degli Studi di Milano, 2001, Milán.

AUTORES

Laura Alba es licenciada en Bellas Artes en la especialidad de Restauración de Obras de Arte por la Universidad Complutense de

Madrid. Ha trabajado en el Museo Guggenheim Bilbao, en el Museo de Arte Abstracto Español, en el Museo Provincial de Cuenca, en la Fundación Juan March y en la Fundación ICO. Desde 2004 pertenece al Gabinete de Documentación Técnica del Museo Nacional del Prado. laura.alba@prado.mcu.es

Ana González Mozo es doctora en Bellas Artes por la Universidad Complutense de Madrid en la especialidad de Restauración de Obras de Arte. Desde 1996 trabaja en la Subdirección de Conservación del Museo Nacional del Prado, realizando trabajos de digitalización y tratamiento de imágenes para la conservación y mejora de los Archivos Fotográficos y Documentales del Museo, así como para la investigación de procesos creativos de la pintura con sistemas digitales. ana.gonzalez@prado.mcu.es