

Análisis de la colección pictórica de los siglos XV-XVI del Museo de Bellas Artes de Sevilla mediante técnicas nucleares no destructivas

Anabelle Kriznar

Centro Nacional de Aceleradores, Universidad de Sevilla

Valme Muñoz Rubio

Museo de Bellas Artes de Sevilla

Miguel Ángel Respaldiza Galisteo

Centro Nacional de Aceleradores, Universidad de Sevilla

María Mercedes Vega Toro

Museo de Bellas Artes de Sevilla

Elsa Minerva Arroyo Lamus

Instituto de Investigaciones Estéticas, Universidad

Nacional Autónoma de México, México

José LuíS Ruvalcaba Sil

Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de

México, México

RESUMEN

Se presenta en esta comunicación un proyecto de investigación interdisciplinar dedicado a la caracterización de obras de los siglos XV y XVI del Museo de Bellas Artes de Sevilla, que cuenta con una excepcional colección pictórica y de otras obras de arte. Incluye expertos tanto del campo de humanidades como de ciencias. El trabajo desarrollado dentro del proyecto aporta una importante información sobre materiales constitutivos de las distintas obras, sobre todo pigmentos inorgánicos. Para la caracterización de las obras se emplean técnicas de análisis no destructivas. Entre ellas la más usada es la Fluorescencia de rayos X (XRF), empleando un equipo portátil que posibilita el desplazamiento a las salas de la colección permanente, al almacén o al taller de restauración del propio Museo. Se está integrando también al proceso del análisis un examen previo con luz UV y con reflectografía IR que permiten ver posibles retoques y dibujos subyacentes respectivamente. Se

ha establecido una colaboración con expertos de la Universidad Nacional Autónoma de México, donde se encuentran varias obras de pintores sevillanos y flamencos del siglo XVI, como por ejemplo Alonso Vázquez y Martín de Vos, cuyas obras podemos encontrar a ambos lados del Atlántico. El estudio comparativo de las obras seleccionadas de estos autores, empleando además el mismo procedimiento analítico, es el principal objetivo de dicha colaboración.

1. INTRODUCCIÓN

En España, al igual que en el resto de Europa, disponemos de una herencia cultural muy amplia. En el estudio del Patrimonio Histórico y Cultural los análisis científicos son cada vez más importantes y representan un magnífico complemento a los estudios tradicionales. La colaboración interdisciplinaria de restauradores, conservadores, historiadores del arte, arqueólogos, físicos, químicos y geólogos, entre otros, ofrece una información mucho más amplia y detallada sobre las obras de arte, su composición, el proceso de elaboración y los materiales usados. El desarrollo de las técnicas analíticas ha ido en la dirección de requerir muestras cada vez más pequeñas, hasta llegar a la elaboración de estratigrafías a base de micromuestras. Este tipo de análisis sigue siendo fundamental hoy en día y se complementa con técnicas analíticas como la DRX, SEMEDX, FTIR, espectroscopia Raman, cromatografía, etc. Sin embargo, el procedimiento ideal para el análisis de objetos es, sin duda, la utilización de los métodos no destructivos, que permiten estudiar una obra de arte sin tener que tocarla. Para este fin, en las últimas décadas se desarrollaron equipos portátiles de diversas técnicas, tales como XRF (Fluorescencia de Rayos X), que posibilitan estudiar un objeto in situ.

Nuestro grupo de investigación ha sido pionero en España, con la instalación del primer acelerador de partículas para investigación, en el uso de técnicas nucleares no destructivas en el análisis de objetos de interés cultural de muy diversa naturaleza: metales, cerámicas, pigmentos, vidrios, etc. También cuenta con diversos equipos portátiles de XRF y con el acceso a un segundo acelerador tandem en el Centro Nacional de Aceleradores para el fechado de muestras mediante ^{14}C utilizando la técnica AMS (Accelerator Mass Spectrometry).

Uno de los equipos de XRF está, desde hace unos años, casi permanentemente ubicado en el Museo de Bellas Artes de Sevilla, que posee una de las pinacotecas más importantes de España, para llevar a cabo estudios sobre obras selectas de su colección. El museo alberga obras de excepcional calidad artística y de naturaleza diversa (pintura, escultura, dibujos, cerámica, orfebrería...), dentro de la cual destaca la pintura de los grandes maestros del siglo XVII, así como la importante colección de arte flamenco e italiano del Renacimiento y Barroco. También cuenta con personalidades artísticas singulares como El Greco, Cranach, Ribera, Pacheco o Alonso Vázquez, además de una colección interesante de la escuela pictórica Sevillana (Valdivieso 1986; Valdivieso 1992; Izquierdo, Muñoz 1999).

En el último año se ha iniciado, además, una colaboración con los expertos de la Universidad Nacional de México (UNAM), para ampliar el abanico de resultados y posibilidades analíticas. El grupo de investigación de la UNAM es líder en esta área de investigación en México y en el continente Americano, y cuenta con las infraestructuras, equipos y los recursos humanos con experiencia y capacidad para llevar a cabo este tipo de estudios. En el Instituto de Física de la UNAM se han realizado trabajos arqueométricos de una gran variedad de materiales y objetos del patrimonio cultural e histórico mexicano, en colaboración con otros Institutos de la UNAM y de los Institutos Nacionales de Antropología e Historia (INAH) y de Bellas Artes (INBA) mexicanos. Asimismo desde hace más de cinco años se han implementado dentro de un marco de investigación interdisciplinario, estrategias de estudio no destructivo de colecciones y objetos únicos, integrando equipos portátiles para análisis *in situ* y técnicas de laboratorio no destructivas e invasivas.

2. OBJETIVOS

Los museos necesitan conocer de qué están hechos aquellos objetos que deben restaurar y conservar y deben asegurar la autenticidad y el valor de piezas o pinturas candidatas a ser adquiridas. De gran interés es también el conocimiento de los procesos de degradación, las causas que la provocan, el modo de desarrollo y formas de prevenir y ralentizar estos fenómenos. Igualmente el seguimiento

de los métodos y materiales de conservación y restauración ya implantados, es otra actividad de evidente importancia que se beneficia del uso de las nuevas tecnologías. Existe una necesidad creciente de realizar investigaciones no destructivas sobre los objetos de museo. La extracción de muestras para su análisis no siempre es posible y en algunos casos es desaconsejable. Así pues, el presente Proyecto nace tanto de la necesidad que les surge a los responsables del Museo de Bellas Artes de Sevilla de poder tener acceso *in situ* a las técnicas no destructivas de análisis de última generación, como a la conveniencia de rentabilizar socialmente la instrumentación única en nuestro país de que dispone el Centro Nacional de Aceleradores (CNA).

El objetivo principal del presente Proyecto es por lo tanto doble: por un lado el facilitar el acceso a instrumentación científica de última generación a los conservadores y restauradores del Museo en su labor de estudio y preservación de la colección de arte que éste posee, particularmente la colección pictórica de los siglos XV y XVI, y por otro posibilitar el desarrollo metodológico y la puesta a punto de la combinación de técnicas analíticas más conveniente para cada caso particular que surja en la consecución del primer objetivo.

El análisis de obras de arte de la colección del Museo mediante técnicas no destructivas aporta información imprescindible sobre los materiales empleados, pigmentos y tipo de preparación, las posibles intervenciones posteriores e incluso sobre un dibujo subyacente. Las obras de arte seleccionadas dentro del presente proyecto se pueden dividir en varios grupos. El primero abarca la colección de pinturas españolas y sevillanas del siglo XV, realizadas por Bartolomé Bermejo, Bernardo Martorell, Maestro de Almonacid, Esparagués, Maestro de Coteta, Juan Hispalense y obras catalogadas como pertenecientes al círculo de Juan Sánchez II o Juan Sánchez de Castro. El segundo grupo lo constituyen las obras de pintura flamenca, pertenecientes a Marcellus Coffermans, Maestro de Medias Figuras, Pieter Coecke o Pieter Aertsen, entre otros. Con el análisis se pretende crear una base de datos para poder comparar los materiales y técnicas pictóricas entre varios pintores no solo dentro del Museo, sino también en otras instituciones en el mundo que albergan obras de los mismos artistas flamencos. Otro

apartado lo constituyen las pinturas renacentistas y manieristas del siglo XVI, cuando Sevilla alcanzó un gran desarrollo económico gracias al florecimiento de su actividad comercial con América y el resto de Europa, dentro de las cuales sobresalen las obras de Frans Francken, Martín de Vos o Alonso Vázquez. De especial interés entre el último grupo tienen aquellos artistas cuyas obras se encuentran tanto en España como al otro lado del Atlántico, sea porque viajaron las obras, sea porque se mudaron los artistas, como es el caso de Vázquez. El análisis comparativo permitirá definir con mayor precisión las técnicas pictóricas y las paletas de estos pintores con aportes significativos para el estudio de la pintura Novohispana y la influencia de las escuelas pictóricas españolas y europeas en el México colonial.

Otro objetivo del proyecto es también profundizar en la utilización complementaria de las diferentes técnicas no destructivas (XRF y otras técnicas portátiles, PIXE, Radiación sincrotrón) asequibles al Grupo investigador. Se pretende continuar poniendo al día los instrumentos científicos y los métodos analíticos aplicables a los distintos problemas planteados, así como poner en funcionamiento un equipo de XRF equipado con fibras policapilares que permitirían realizar medidas de XRF confocal para intentar obtener información en profundidad de la muestra, por lo que, en caso de lograrse, podría ser una alternativa en determinados casos a la extracción de muestras estratigráficas de las obras a analizar.

3. METODOLOGÍA

Los análisis realizados se centran sobre todo en la aplicación de los equipos portátiles y no destructivos, que permiten realizar el estudio *in situ*, directamente en la sala de exposición, en el almacén o en el taller de restauración, sin necesidad de mover el objeto. Primero se observa la obra con la luz UV (Foto 1) para descubrir posibles intervenciones, retoques y repintes posteriores. Las zonas destacadas ayudan posteriormente a elegir los puntos para el examen con XRF. Con la fluorescencia se pretende analizar los diferentes colores y tonalidades en una obra, para así obtener la más amplia información sobre los pigmentos utilizados. El análisis siempre se realiza bajo las mismas condiciones de medida (voltaje

de 29.5 kV, corriente del cátodo de 80 μ A, tiempo de 300 seg) para poder comparar los resultados de los diferentes puntos analizados.



Foto 1. Examen con luz UV de la tabla del Maestro de Almonacid, Virgen rodeada de ángeles músicos (s. XV).

El equipo de XRF usado en este proyecto es un equipo portátil (Foto 2a, 2b) con un generador de rayos X RX38 de la empresa italiana EIS S.L. con ánodo de W. El detector, acoplado lateralmente al tubo, es un detector de deriva de Si (SDD) con una resolución en energía de 140 eV para el pico de 5.9 keV. Ambos equipos están fijados en un soporte metálico especialmente diseñado para poder moverlo manualmente, con la ayuda de una manivela, hacia delante y hacia atrás. Este movimiento suave y preciso es imprescindible para poder acercarse con mucho cuidado al cuadro sin llegar a tocarlo y conseguir la distancia adecuada para el análisis. Para fijar la distancia, en ambos lados de la salida del haz en el tubo, están fijados dos láseres. El punto de la intersección de ambos láseres hace posible mantener siempre la misma distancia del tubo de rayos X hasta la superficie por analizar. En estas circunstancias es posible garantizar la reproductividad de la posición tubo-superficie-detector durante todas las medidas. El tamaño del haz viene definido por el colimador circular de 1mm de diámetro, aunque el tamaño real en el punto analizado es de cerca de 3mm de diámetro. A la salida del haz está acoplado un filtro de Al de 1mm de grosor para eliminar los picos de W del ánodo.

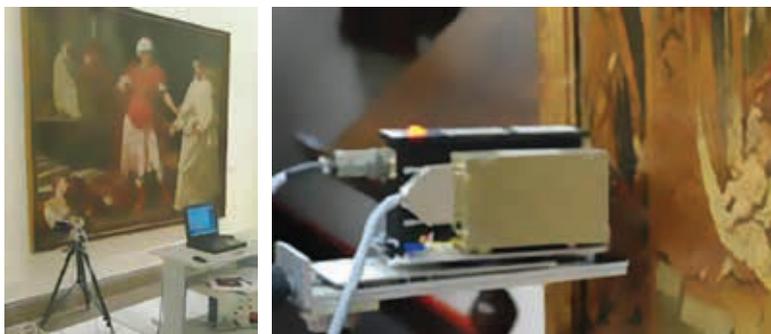


Foto 2. Análisis in situ con un equipo portátil de XRF realizado sobre el cuadro de (a) Alonso Vázquez, San Pedro Nolasco despidiéndose de Jaime I el Conquistador (1601) y (b) Maestro de Moguer, Retablo del nacimiento de Cristo (hacia 1525).

La Fluorescencia de rayos X hace posible un análisis elemental y puede identificar elementos químicos con el número atómico Z mayor de 14. Por lo tanto, sólo los materiales inorgánicos pueden ser identificados por esta técnica. En nuestro caso esto significa que se pueden identificar sólo los pigmentos inorgánicos, naturales o artificiales. Otro obstáculo lo presentan aquellos pigmentos caracterizados por el mismo elemento químico pero diferente composición molecular, como por ejemplo diferentes pigmentos a base de plomo o varios verdes a base de cobre, y que por lo tanto no se pueden identificar con más precisión (Gómez 2000; Seccaroni, Moiola 2002; Deming Glinsman 2004).

Los pigmentos se pueden identificar en base a los elementos químicos presentes en los espectros de los puntos analizados, según las energías características de los picos de rayos X. Un análisis semi-cuantitativo (cálculo de las cuentas por segundo o cps) se lleva a cabo a base de las áreas de los picos de XRF obtenidos en las regiones de interés (ROI) en el analizador multicanal. Estas áreas ofrecen una estimación semi-cuantitativa de las concentraciones de los elementos, ya que son proporcionales a la concentración en peso y su raíz cuadrada puede servir como medida del error experimental. Por lo tanto, la comparación entre el contenido de un elemento particular en puntos diferentes de composición similar se puede hacer de forma directa a través de los respectivos picos de este elemento. Los resultados se comparan con la base de

datos de los pigmentos tradicionales, elaborada en el propio CNA, además de con la vasta bibliografía sobre los materiales pictóricos tradicionales (Wehlte 1967; Doerner 1984; West Fitzhugh et al. 1987-2007; Knoepfli et al. 1990; Montagna 1993; Serchi 1999; Brachert 2001; Estaugh et al. 2008).

El equipo de XRF se suele poner en un tripode, para poder variar con facilidad la altura de los puntos analizados. Sin embargo, para poder acceder a las zonas muy elevadas en los casos de cuadros de mayor tamaño, se ha elaborado un soporte automático especial con los movimientos en las tres direcciones X, Y y Z. Dicho soporte sirve también para la obtención de imágenes de reflectografía infrarroja (Foto 3) cuya aplicación se ha introducido en la investigación del proyecto recientemente. La cámara utilizada es de la marca Xenics modelo Xeva.



Foto 3. San Agustín de Martín de Vos perteneciente al Retablo del convento de San Agustín (1570) examinado con la cámara de reflectografía IR acoplada al soporte automático.

4. RESULTADOS

4.1. Pintura Sevillana de los siglos XV y XVI

Hasta hoy son varias las obras que se han analizado (Kriznar et al. 2010). Del primer grupo de la pintura española y sevillana se eligieron las tablas de Bernardo Martorell y de anónimos pintores conocidos como Maestro de Almonacid y Maestro de Moguer. Bajo la luz UV se observaron varios retoques de tamaños variables, especialmente en las uniones de las tablas y en los bordes, donde las tablas suelen estar más dañadas (Foto 4). Los resultados revelan que todas las tablas tienen una preparación a base de Ca, que puede ser de carbonato (CaCO_3) o de sulfato de calcio (CaSO_4). El último era más común en el sur de Europa, mientras que el primero en el norte. El elemento característico de ambos, Ca, se observa en todos los espectros, sin embargo la intensidad de los picos varía dependiendo del grosor de las capas de color superpuestas. A base del análisis elemental no podemos distinguir de cuál de estos dos materiales se trata, ya que los picos $K\alpha$ del S, otro elemento característico de yeso, vienen superpuestos con los picos de M del Pb. En todos los puntos analizados se aprecian picos altos de Pb, revelando la presencia de uno o varios compuestos a base de Pb en toda la superficie. Estos se pueden encontrar en la capa de la imprimación, como secativo en el caso de pintura al óleo o como pigmento. Pero, como ya se explicó previamente, no se puede distinguir entre varios compuestos utilizables para este fin, blanco albayalde (carbonato básico de plomo, $(\text{PbCO}_3)_2 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$), amarillos masicote o litargirio (óxido de plomo, PbO) o rojo minio (óxido de plomo, Pb_3O_4). En el caso de los pigmentos empleados en las capas pictóricas nos puede ayudar, en algunos casos, el color que estamos analizando (por ejemplo rojo o amarillo, verde o azul). Los pigmentos empleados fueron típicos para aquella época. El color blanco fue pintado con albayalde ($(\text{PbCO}_3)_2 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$). Para el amarillo y rojo los pintores emplearon ocre amarillo ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) y rojo (Fe_2O_3), identificados a base del elemento característico Fe. En la mayoría de los casos éstos vienen mezclados con otros pigmentos, por lo tanto no se puede decir con seguridad si el pintor usó un ocre rojo o amarillo. El rojo bermellón fue empleado como el pigmento rojo principal, identificado con picos altos de Hg, tanto en varias vestimentas como en las carnaciones, donde viene

mezclado con albayalde y ocre. El color azul fue en todos los casos azurita (Cu), mientras que el verde, un pigmento a base de cobre. Hay muchos pigmentos verdes cuyo elemento característico es el Cu, y por lo tanto es imposible identificarlo con más precisión. Los pintores pudieron emplear malaquita, $(\text{CuCO}_3 \bullet \text{Cu}(\text{OH})_2)$, verdigris $(\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \bullet 2\text{H}_2\text{O})$ o algún resinato de cobre $(\text{Cu}(\text{C}_{19}\text{H}_{29}\text{COO})_2)$. El pigmento marrón fue sombra natural o tostada $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO}_2)$, identificada con la presencia común de Mn y Fe. El pigmento negro es de origen orgánico, por lo tanto no se puede identificar con XRF. Sin embargo, los picos altos de Ca en las zonas oscuras hacen pensar que se trata de negro de huesos o marfil, $(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{CaCO}_3 + \text{C})$. En las zonas de retoques se observan picos de Ti y Zn, revelando así el empleo de pigmentos modernos blanco de titanio y de zinc. (Knoepfli et al. 1990; Montagna 1993; Serchi 1999; West Fitzhugh et al 1987-2001; Eastaugh 2008).



Foto 4. Los retoques y repintes visibles bajo luz UV en la tabla de San Francisco de Asís de Martín de Vos perteneciente al Retablo del convento de San Agustín (1570).

4.2. Pintura flamenca del siglo XVI

En el grupo de la pintura Flamenca se analizaron, hasta ahora, obras de Pieter Coecke, Maestro de Medias Figuras (Kriznar et al. 2011A), Pieter Aertsen y Marcellus Coffermans (Kriznar et al. 2011B). La presencia de Ca y Pb en todos los puntos analizados, de nuevo indica el uso de una preparación a base de carbonato o sulfato de yeso. En este caso, la preparación a base de carbonato sería más creíble, ya que era típica para el Norte de Europa (Wehlte 1967; Doerner 1984; Knoepfli et al 1990; Brachert 2001). Encima de ella, se aplicó, probablemente, la imprimación en albayalde, pero para confirmarlo, habría que recurrir a las técnicas analíticas destructivas a base de las muestras extraídas de la pintura. Los pigmentos encontrados en este grupo son parecidos a aquellos del grupo anterior, albayalde (Pb), ocre amarillos y rojos (Fe), bermellón (Hg), azurita (Cu), un verde a base de cobre (Cu), sombra (Mn, Fe) y probablemente negro de huesos o marfil (Ca).



Foto 5. Marcellus Coffermans: Díptico de la Anunciación y Visitación (hacia 1570). La presencia de azul esmalte, aplicado en los ropajes de la Virgen y en otras zonas, ya no se aprecia a simple vista.

Es muy probable que los pintores emplearan también un rojo orgánico, ya que en varias zonas rojas analizadas no aparecen picos característicos de pigmentos rojos inorgánicos. Además de estos pigmentos, en todos los cuadros el pigmento azul principal es esmalte, vidrio potásico que contiene cobalto ($\text{SiO}_2 + \text{K}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3$

+ CoO), mientras que la azurita fue empleado sólo para los detalles. En la mayoría de las tablas, el esmalte sufrió cambios químicos y perdió su color azul, convirtiéndose en una capa de color verdosa, casi transparente. En la tabla de Coffermans se descubrió la existencia de este pigmento sólo con XRF, ya que a simple vista el cuadro ya no muestra color azul (Foto 5). Otro pigmento que destaca, es el uso de amarillo de plomo-estaño (Pb_2SnO_4), para las zonas amarillas muy claras. Las intervenciones en este grupo se confirmaron, después del examen con la luz UV, a base de la presencia de Ti, Zn, Cd y Cr, revelando el uso de pigmentos modernos como blanco de zinc y de titanio, rojo de cadmio y verde de cromo.

4.3. Pintura relacionada con el Nuevo Mundo

En el grupo de las pinturas relacionadas con el Nuevo Mundo, se han analizado varias obras de Alonso Vázquez y el tríptico de Martín de Vos, aprovechando en algunos casos que las obras estaban en el proceso de restauración. Los análisis mostraron una presencia alta de Ca sobre todo en las áreas con capas pictóricas dañadas o finas, que revela una preparación a base de un compuesto de calcio (carbonato o sulfato). En los cuadros de Vázquez se puede observar, debajo de las capas pictóricas, una imprimación rojiza hecha con un ocre rojo (Fe) y bermellón (Hg). Se trata de una imprimación para dar base a otros colores y facilitar el modelado posterior, característica para este pintor. Los pigmentos empleados por ambos pintores son comunes para la época: blanco de plomo (Pb), amarillo de plomo-estaño (Pb, Sn), ocre amarillos y rojos (Fe), sombra natural o tostada (Mn, Fe), un verde a base de cobre (Cu), azurita (Cu), bermellón (Hg) y un negro orgánico, probablemente de huesos o marfil (Ca). En la paleta de los pintores se encuentra probablemente también un rojo orgánico. Sin embargo, lo que sorprende en varias áreas analizadas tanto de los cuadros de Vázquez como del tríptico de Vos, es la presencia de As, que podría identificar el uso de oropimento o realgar, dos pigmentos venenosos y poco estables.

5. CONCLUSIONES

El proyecto de investigación aquí presentado está dedicado a la caracterización de obras de arte del Museo de Bellas Artes de Sevilla, usando las técnicas no destructivas y portátiles como el examen con la luz UV, la Fluorescencia de rayos X y la reflectografía UV. Se trata de un trabajo interdisciplinar entre el Museo de Bellas Artes de Sevilla, el Centro Nacional de Aceleradores (Universidad de Sevilla), y los Institutos de Física y de Investigaciones Estéticas de la UNAM. Las obras seleccionadas pertenecen a las escuelas Sevillana, Flamenca y a la pintura Novohispana. Hasta ahora se ha analizado un apreciable número de cuadros sobre tabla y sobre tela. Los resultados mostraron que las preparaciones de los cuadros están hechas de carbonato de calcio o de yeso, sobre las cuales se encuentra probablemente una imprimación a base de un compuesto de Pb, con la excepción de las obras de Vázquez cuyas preparaciones rojizas están ejecutadas en ocre rojo y bermellón. Los pigmentos son comunes para aquellas épocas: albayalde, ocre amarillos y rojos, bermellón, azurita, un verde a base de Cu, sombra, además de rojo y negro orgánicos. El grupo de pintura flamenca se caracteriza por la presencia de esmalte y amarillo de Pb-Sn, mientras que el grupo de la pintura relacionada con el Nuevo Mundo por la presencia de oropimento o realgar. Todavía quedan muchas obras por analizar, tanto en España como en Méjico, para luego poder comparar los resultados a ambos lados del Atlántico y así conseguir una información mucho más amplia sobre la pintura Novohispana.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos: Se agradece la financiación de los Proyectos de Excelencia 205/HUM-493 y HUM 04544 de la Junta de Andalucía, además del contrato Postdoctoral Juan de la Cierva del Ministerio de Ciencia e Innovación de España.

BIBLIOGRAFÍA

- BRACHERT, Thomas. *Lexikon historischer Maltechniken, Quellen – Handwerk – Technologie – Alchemie*. München: Callwey Verlag, 2001.
- DEMING GLINSMAN, Lisa. *The Application of X-Ray Fluorescence Spectrometry to the Study of Museum Objects*. Published PhD Dissertation. Amsterdam: University of Amsterdam, 2004.
- DOERNER, Max. *The materials of the artists and their use in painting, with notes on the techniques of the old masters*. San Diego, New York, London: A Harvest Book, Harcourt, Inc., 1984.
- GÓMEZ, María Luísa. *Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte*. Madrid: Cátedra, Instituto del patrimonio histórico español, 2000.
- EASTAUGH, Nicholas, WALSH, Valentine, CHAPLIN, Tracy, SIDDAL, Ruth. *Pigment Compendium, a dictionary and optical microscopy of historical pigments*. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo: Elsevier, 2008.
- IZQUIERDO, Rocio, MUÑOZ, Valme. *Museo de Bellas Artes, Inventario de pintura*. Sevilla: Grafiberica, 1990.
- KNOEPFLI, Albert, EMMENEGGER, Oscar, KOLLER, Manfred, MEYER, André (coordinadores). *Reclams Handbuch der künstlerischen Techniken*. Vol. 1-3. Stuttgart: Philipp Reclam jun., 1990.
- KRIZNAR, Anabelle, MUÑOZ, Valme, DE LA PAZ, Fuensanta, RESPALDIZA, Miguel Ángel, VEGA, Mercedes. Caracterización de la colección del Museo de Bellas Artes de Sevilla mediante técnicas no destructivas de análisis/ Characterization of the collection in the Fine Art's Museum of Seville using non-destructive analytical techniques. *VIII. Congreso Ibérico de Arqueometría*, Seminario de Arqueología y Etnología Terulense, Teruel 2010, pp. 337-346.
- KRIZNAR, Anabelle, MUÑOZ, Valme, DE LA PAZ, Fuensanta, RESPALDIZA, Miguel Ángel, VEGA, Mercedes. *A panel painting by The Master of the Female Half-Lengths analysed by portable XRF. Coalition*, 2011, 21, pp. 2-8.
- KRIZNAR, Anabelle, MUÑOZ, Valme, DE LA PAZ, Fuensanta, RESPALDIZA, Miguel Ángel, VEGA, Mercedes. A diptych by Marcellus Coffermans analysed by portable XRF. En: I. Turbanti-Memmi (coordinadora): *Proceedings of the 37th International Symposium on Archeometry*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2011, pp. 239-245.

MONTAGNA, Giovanni. *I pigmenti, Prontuario per l'arte e il restauro*. Firenze: Nardini editore, 1993.

SECCARONI, Claudio, MOIOLI, Pietro. *Fluorescenza X, Prontuario per l'analisi XRF portatile applicata a superfici policrome*. Firenze: Nardini editore, 2000

SERCHI, Mario (coordinador). *C. Cennini, Il Libro dell'Arte*. Firenze: Felice Le Monnier, 1999.

VALDIVIESO, Enrique. *Historia de la pintura sevillana, Siglos XII al XX*. Sevilla: Edición Guadalquivir S. L., 1986

VALDIVIESO, Enrique *La pintura en el Museo de Bellas Artes de Sevilla*. Sevilla: Edición Galve, 1992.

WEHLTE, Kurt. *Werkstoffe und Techniken der Malerei*. Ravensburg: Otto Maier Verlag, 1967.

WEST FITZHUGH, Elisabeth, FELLER, Robert, ROY, Ashok, BERRIE, Barbara (coordinadores). *Artist's pigments, A Handbook of their history and characterisation*. Vol. 1–4. Washington: National Gallery of Art; New York, Oxford: Oxford University Press, 1987-2007.