

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

Anabelle Križnar (1) / María del Valme Muñoz Rubio (2) / Fuensanta de la Paz Calatrava (2) / Miguel Ángel Respal-
diza Galisteo (1) / Mercedes Vega Toro (2)

(1) Centro Nacional de Aceleradores, Universidad de Sevilla

(2) Museo de Bellas Artes de Sevilla

RESUMEN: En los últimos tres años se ha desarrollado un Proyecto de investigación, financiado por la Junta de Andalucía dentro del programa de Proyectos de Excelencia y ha tenido como título el de esta comunicación. El Proyecto ha estado dedicado a la caracterización de una parte de las obras de arte que componen la colección del Museo de Bellas Artes de Sevilla. Se trata de un trabajo interdisciplinar, con la participación de historiadores del Arte, restauradores, conservadores, físicos y químicos. Persigue un doble objetivo: una caracterización científica no destructiva de las distintas obras para servir de apoyo en las tareas de restauración y conservación, así como en su utilización complementaria de las diferentes técnicas no destructivas. En el transcurso del Proyecto y hasta la fecha se han analizado alrededor de treinta obras, pintura sobre tabla y lienzo, así como esculturas policromadas, un dibujo en papel y un azulejo. La mayoría de las pinturas y esculturas son de los siglos XV y XVI, realizadas por los artistas pertenecientes a las escuelas flamenca y sevillana, en las que se intentará profundizar mediante futuras colaboraciones entre el Museo y el Centro Nacional de Aceleradores (CNA). Los análisis permiten obtener información importante sobre los pigmentos inorgánicos empleados, sus posibles cambios químicos, la paleta del artista, así como identificar posibles intervenciones posteriores.

SUMMARY: Over the last three years, an investigation project supported financially by the Regional Government of Andalusia's program of "Proyecto de Excelencia" was developed, bearing the same name as this publication. This project focused on the characterization of selected artworks in the collection of the Fine Arts Museum of Seville. The interdisciplinary approach counts with a collaboration of art historians, restorers, conservators, physicists and chemists. It followed a dual purpose: a non-destructive scientific characterization of different works of art with a view to help the restoration and conservation thereof, and to expand the complementary use of different non-destructive techniques. From the start of the project and up to this date, about thirty artworks were analysed, among which panel and canvas paintings prevail. Polychrome sculptures, a sketch on paper and a glazed tile (azulejo) were studied as well. The majority of the paintings and sculptures are from the 15th and 16th Centuries and were carried out by artists from Flemish and Seville schools. Both schools will be studied more thoroughly during future collaborations between the Museum and National Centre of Accelerators (CNA). The analyses allow important discoveries about original pigments applied, their possible chemical changes, the artist's colour palette, as well as discover possible later interventions.

PALABRAS CLAVE: Pigmentos, pintura, escultura, técnicas no destructivas de análisis, trabajo interdisciplinar.

KEY WORDS: Pigments, paintings, sculpture, non-destructive technical analysis, interdisciplinary work.

I. INTRODUCCIÓN

El Museo de Bellas Artes de Sevilla alberga una colección de excepcional calidad artística y de naturaleza diversa (pintura, escultura, dibujos, cerámica, orfebrería, etc.), dentro de la cual destaca la obra de grandes maestros del siglo XVII como Zurbarán, Murillo y Valdés Leal, así como una im-

portante colección de arte flamenco e italiano del Renacimiento y Barroco (Francken, Martín de Vos o Torrigiano). También cuenta con personalidades artísticas singulares como El Greco, Cranach, Ribera, Pacheco o Alonso Vázquez (Moreno Mendoza *et al.* 1991).

El Proyecto de investigación que resumimos

en este trabajo ha perseguido un doble objetivo: dar respuesta a la necesidad de una caracterización científica no destructiva de los distintos objetos que componen una parte significativa de la valiosa colección del Museo para ayudar en las tareas de restauración y conservación, así como profundizar en la utilización complementaria de las diferentes técnicas no destructivas (FRX y otras técnicas portátiles, PIXE, Radiación Sincrotrón) asequibles al Grupo investigador en la resolución del primer objetivo.

El trabajo está pensado y organizado como una colaboración interdisciplinar entre los investigadores del Centro Nacional de Aceleradores y del Museo de Bellas Artes. Su finalidad es analizar una serie de obras de arte seleccionadas para obtener más información sobre los pigmentos empleados, sus posibles cambios químicos o incluso identificar retoques y repintes posteriores. Dichos resultados pueden revelar la paleta característica de un pintor o de una escuela artística, así como una información útil también para la autenticación de obras de arte.

II. PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS

En el transcurso del Proyecto se formó primero una base de datos de pigmentos puros y luego se prosiguió con análisis de obras de arte seleccionadas, tanto de las que pertenecen al Museo de Bellas Artes de Sevilla como, en una ocasión con el permiso pertinente, de algunas de las que formaban parte de una exposición temporal relacionadas con la colección del Museo. La técnica que más se ha empleado hasta ahora, es sobre todo la fluorescencia de rayos X portátil (FRX), que permite un análisis no destructivo *in situ* (Volpin 2002; Aldrovandi *et al.* 2003; Gómez 2000; Seccaroni *et al.* 2004) sin necesidad de mover la obra de arte (Figura 1). Las medidas en las salas de exposición se realizan durante los días en que el museo está cerrado al público.

El equipo de FRX usa un tubo de Rayos X de 30 kV con el ánodo de W y un detector SDD con una resolución en energías de 140 eV. Un sistema de dos láseres ayuda a mantener la reproducibilidad en el posicionamiento del punto de análisis. La



Fig. 1. Medidas *in situ* en el Museo de Bellas Artes de Sevilla con el equipo portátil de FRX. Escultura en barro policromado *Virgen de Belén* por Pietro Torrigiano.

evaluación semi-cuantitativa se llevó a cabo usando directamente las áreas de los picos de FRX obtenidas en el analizador multicanal. Estas áreas pueden ofrecernos una estimación semi-cuantitativa de los elementos presentes en la muestra porque son proporcionales a las concentraciones en peso de dichos elementos y su raíz cuadrada nos sirve como estimación de la indeterminación asociada al área del pico de fluorescencia.

III. RESULTADOS

A continuación se presentan algunas de las obras de arte analizadas que abarcan toda la gama de las piezas seleccionadas y destacan por su importancia artística o por los resultados obtenidos. Se ha podido, sobre todo, identificar la mayoría de los pigmentos empleados en los cuadros y en las policromías de las esculturas. Se trata en su mayoría de pigmentos tradicionales, empleados en la Edad Media, mientras que los pigmentos modernos encontrados revelan presencia de retoques posteriores (Gettens *et al.* 1966; Doerner 1984; West Fitzhugh 1987-2007; Pacheco 1990; Montagna 1993; Knoepfli *et al.* 1990; Schramm 1995; Serchi 1999; Wehlte 2005; Eastaugh 2008). Sin embargo, la principal limitación de la técnica FRX, que no detecta elementos químicos con el número de Z más bajo que 13 o 14, consiste en no poder identificar colorantes orgánicos, además de no ser posible, en algunos casos, distinguir entre varios pigmentos basados en el mismo elemento químico



Fig. 2. Anónimo: *Retablo de la Pasión de Cristo*, pintura sobre tabla (hacia 1415).

(Seccaroni *et al.* 2004: 4-5). Los resultados obtenidos con esta técnica son elementales y no moleculares. Así, por ejemplo, para un verde a base de cobre o de un pigmento a base de plomo no se puede identificar exactamente el pigmento empleado. A veces nos sirve de ayuda el color visible que estamos analizando (por ejemplo blanco, amarillo o rojo en el caso de plomo), pero no siempre es así, sobre todo si el color es una mezcla de varios pigmentos diferentes. Sin embargo, los resultados que se pueden obtener ofrecen información significativa, como lo demuestran los siguientes ejemplos descritos.

Anónimo: *Retablo de la Pasión de Cristo*, pintura sobre tabla (hacia 1415)

Es una de las obras más antiguas de la exposición permanente del Museo de Bellas Artes. Representa las escenas de la Pasión de Cristo: la *Oración en el huerto*, la *Flagelación*, *Cristo camino a Calvario*, la *Crucifixión* y la *Piedad* (Figura 2). Los análisis de los pigmentos por FRX dieron los siguientes resultados: el pigmento blanco, presente en la preparación y como color, es el blanco de Pb. El color rojo de los ropajes es sobre todo cinabrio, identificado por picos altos de Hg, al cual se le añadió también una pequeña parte de ocre rojo, como lo demuestran picos bajos de Fe. Los dos pigmentos rojos se emplearon así mismo para las carnaciones, mezclados con blanco de Pb. El pintor tuvo que emplear incluso un tercer pigmento rojo, que en este caso tiene que ser un colorante orgánico, quizás carmín. El análisis del cristo seráfico rojo en la escena de la *Piedad* no identificó ningún pigmento inorgánico, lo que señala hacia el uso de una sustancia orgánica, imposible de detectar con FRX. El color violeta se consiguió mezclando cinabrio y azurita. El azul de los ropajes y del cielo fue pintado con azurita. Para el color verde se empleó un pigmento a base de cobre, que no se puede identificar con más exactitud con la técnica de FRX. En base a la tonalidad más oscura, que en algunas zonas va hacia marrón, es posible afirmar que probablemente el pigmento empleado sea verdigris. El color marrón se consiguió con sombra natural o tostada y, en otros casos, con ocre amarillo tostado. El pigmento negro es una sustancia orgánica

que tampoco se puede detectar con FRX. Los nimbos están dorados y el oro, confirmado por los intensos picos de este elemento, está dispuesto sobre una base de una arcilla especial rica en óxido de hierro (bol). En muchos puntos, los picos altos de Ba y Zn descubren el empleo de litopón, mientras que en algunas áreas rojas se ha descubierto rojo de Cd. Ambos pigmentos son modernos y revelan retoques posteriores (Križnar *et al.* 2008a).

Marcelo Coffermans: Díptico de la Anunciación y Visitación, pintura sobre tabla (hacia 1570)

El díptico pertenece a la colección del arte flamenco del. Representa dos escenas de la vida de la Virgen, la *Anunciación* y la *Visitación*. Réplicas del cuadro, realizadas por el mismo Coffermans, se encuentran hoy en diferentes museos del mundo. Los colores de ambas tablas, aunque intensos, se han visto en algunos casos alterados, como lo demuestran los resultados de los análisis. (Križnar *et al.* en prensa). La mayor alteración la han sufrido el ropaje de María en ambas escenas, la túnica del ángel en la *Anunciación* y el cielo en la *Visitación*. Las vestiduras de la Virgen tiene en la actualidad un aspecto marrón-verdoso, la túnica del ángel es de un tono parduzco y en el cielo se ven algunas manchas oscuras. Los resultados de los análisis revelaron que todas estas zonas originalmente eran azules, pintadas con azul esmalte (Co, Ni, As, Bi). Este pigmento vidrioso perdió su color a causa de alteraciones químicas (Eastaugh 2008: 351-352). El color blanco es el blanco de plomo, empleado también en la preparación y añadido a otros pigmentos para aclararlos. El verde es un pigmento a base de Cu (verdigris o un resinato de cobre), que se presenta en diferentes tonalidades. Las encarnaduras fueron hechas de una mezcla de blanco de plomo, cinabrio y quizás un poco de ocre, como lo demuestran picos altos de Hg y bajos de Fe. Las sombras fueron realizadas con un pigmento de tierra, probablemente un ocre tostado. El análisis de las manos reveló un repinte en la mano derecha de María y en la izquierda de Santa Isabel (presencia de Zn, elemento característico en pigmento moderno). Para el color rojo se emplearon dos pigmentos diferentes: cinabrio y un rojo orgánico que no se puede detectar con FRX. Este último se ha empleado probable-



Fig. 3. Marcelo Coffermans: *Díptico de la Anunciación y Visitación*, pintura sobre tabla (hacia 1570).

mente para el manto de Santa Isabel en la *Visitación* y para la cama en la *Anunciación*, ya que en los espectros no se observa ningún pico representativo de ningún pigmento rojo inorgánico. Ocre amarillo y rojo se emplearon para el suelo y los edificios, mientras que para los tejados y el fondo oscuro se usó un verde oscuro a base de Cu. El amarillo de la aureola del ángel fue pintado con un amarillo de Pb-Sn, mezclado con un ocre amarillo.

Se ha descubierto en otros cuadros analizados de la colección flamenca un uso similar de pigmentos, sobretudo el azul esmalte revelando así la relación entre las obras de diferentes autores según el empleo de los pigmentos.

Vasco Pereira: Santa Ana con la Virgen y San Juan Bautista, pintura en tabla (1598)

Se trata de dos tablas de un pintor perteneciente a la escuela sevillana del siglo XVI, en las que

se representa a *Santa Ana con la Virgen* y a *San Juan Bautista* (Figura 4). Los resultados de ambas tablas son muy parecidos y confirman el empleo de casi los mismos pigmentos (Križnar *et al.* 2008b). Estos son blanco de Pb, ocre, cinabrio, algún colorante rojo orgánico, sombra natural o tostada, azurita, un verde a base de Cu y, probablemente, un negro orgánico. En la tabla de San Juan Bautista se ha encontrado, además, tierra verde. Los colores se aclaraban añadiendo blanco de Pb y se oscurecían con una mezcla de sombra natural o tostada con un verde a base de Cu. A esta mezcla básica se agregaba a veces un ocre

o también un negro orgánico. Las cantidades de cada pigmento variaban dependiendo del tono de oscuridad que se quería conseguir. En la tabla de Santa Ana se observan pequeñas intervenciones en muy pocas zonas (Ba, Ti, Zn, revelan el empleo de materiales modernos). Se han encontrado más intervenciones en la tabla de San Juan Bautista, identificables por los picos bajos de Ti, Ba, Cr y Cd, que revelan la presencia de pigmentos modernos. Para lograr informaciones más concluyentes se ha considerado analizar otras obras de las Escuela Sevillana del mismo período y realizar un estudio comparativo.



Fig. 4. Vasco Pereira: *Santa Ana con la Virgen* y *San Juan Bautista*, pintura en tabla (1598).

El Greco: Retrato de su hijo Jorge Manuel, pintura sobre lienzo (hacia 1600)

Es considerada una de las obras más importantes de la colección del museo (Figura 5). Se han analizado diferentes puntos del fondo oscuro, del traje negro, del cabello, de la encarnadura, de la gola y de los puños. Los elementos más destacados son Pb, Cu y Fe. El fondo oscuro fue pintado con una mezcla de un pigmento a base de tierra (ocre u sombra) y uno verde a base de Cu. Los mismos pigmentos, pero en diferente medida, fueron empleados para el color oscuro del cabello. El color negro del traje es probablemente negro de huesos, identificado por los picos altos de Ca. La carnación esta hecha de blanco de Pb y de un rojo orgánico, probablemente carmín. Más compleja es la paleta de los colores que el retratado sujeta en su mano izquierda. La madera de la misma fue pintada con un ocre amarillo, mientras que los colores en ella son: blanco de Pb, ocre amarillo, un pigmento os-



Fig. 5. El Greco: Retrato de su hijo Jorge Manuel, pintura sobre lienzo (hacia 1600).

curo a base de Cu (verde o marrón), tierra roja y una mezcla de tierra roja con un rojo orgánico para obtener un color rojo oscuro. En algunos puntos se encuentra una escasa presencia de Zn y Ba, mientras que en algunas áreas rojas se detectan trazas de Cd. Los tres elementos revelan puntuales retoques que son probablemente de la última restauración.

Los resultados obtenidos en este cuadro se compararon con otro que guarda el Museo y que se atribuye a un seguidor anónimo de El Greco (Križnar *et al.* 2008c). Se trata de pintura sobre lienzo que representa a *Fray Hortensio Félix de Paravicino* (2/2 mitad del siglo XVI). Aunque a la vista los dos cuadros son parecidos en color, se han detectado diferencias importantes: la carnación está hecha no sólo con blanco de Pb y cinabrio como en el cuadro de El Greco, sino que contiene también el azul esmalte. Este pigmento se encontró así mismo en el cabello y la barba del retratado. Sus labios fueron pintados con cinabrio y ocre rojo y no con un colorante orgánico. También el fondo oscuro presenta picos más bajos de Cu que la obra de El Greco, por lo tanto se ha empleado otra mezcla de pigmentos.

Otra comparación interesante se pudo hacer durante la exposición temporal *El Greco: Toledo 1900* que tuvo lugar en el Museo de Bellas Artes de Sevilla en el invierno del 2008. En aquella ocasión se analizaron varias obras seleccionadas del artista. Se confirmó la presencia de los mismos pigmentos que en la pintura perteneciente al Museo de Bellas Artes de Sevilla, además de azurita, masicote y minio (en las zonas amarillas y rojas de color muy vivo se han identificado picos altos de Pb).

Pedro Millán: Cristo Varón de Dolores, escultura en barro policromada (1485-1503)

El Museo guarda varias esculturas del sevillano Pedro Millán y de su maestro Lorenzo Mercadante, escultor medieval procedente de centro Europa, quienes trabajaron en algunas de las portadas de la catedral hispalense. Se analizaron todas las esculturas de la colección y los resultados sobre los pigmentos empleados eran bastante parecidos

(Križnar *et al.* 2008d, Križnar *et al.* 2008e). Sin embargo, la obra de *Cristo Varón de Dolores* (Figura 6) es la más compleja de todas y todavía quedan cuestiones por resolver. Se trata de un grupo escultórico que presenta varias capas de policromía en algunas zonas. Presenta a Cristo con sus cinco llagas, rodeado de dos ángeles y con el donante arrodillado a sus pies. La complejidad de su modelado dificulta el acceso a muchos puntos de interés. Los resultados obtenidos confirmaron que el material base es arcilla cocida. Los picos altos de Pb en todos los puntos analizados muestran una presencia de una imprimación a base de blanco de Pb o minio por toda la escultura. El color blanco es blanco de plomo. Las carnaciones fueron hechas de blanco de Pb y cinabrio. Para el color del cuerpo de Cristo se añadió también un verde o azul a base de Cu. El color rojo es en la mayoría de los casos cinabrio, al que en ocasiones añadieron algo de ocre rojo. En algunas zonas de rojo oscuro como las llagas de Cristo y las partes interiores del manto se

observa, a simple vista, la presencia de un rojo orgánico, que podría ser carmín. El color azul es azurita, además, la alta proporción de Fe detectada en los espectros sugiere la presencia de livianita o, quizás, un repinte posterior con azul de Prusia, concretamente en los mantos de ambos ángeles. El pigmento verde analizado es identificado como de cobre, pudiendo tratarse de malaquita, verdigris o un resinato básico de cobre. El color del cabello fue pintado con sombra natural o tostada. Se ha confirmado la presencia de oro en los bordes y broches de los mantos, en las cintas del cabello y atributos de los ángeles, así como en las llagas de Cristo. También se han detectado picos de plata, que pueden pertenecer a una lámina de plata, ya no visible, pero que sigue dando señales con FRX (Seccaroni *et al.* 2004: 56-57). Toda la escultura está cubierta con una capa gruesa de cera-resina añadida en una intervención posterior y confirmada en un análisis independiente por FTIR (Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier).



Fig. 6. Pedro Millán: *Cristo Varón de Dolores*, escultura en barro policromada (1485-1503).

Pietro Torrigiano: *San Jerónimo Penitente*, escultura en barro policromada (hacia 1525)

La escultura fue hecha por un famoso escultor italiano, contemporáneo de Miguel Ángel, que se estableció en Sevilla desde 1522. El Museo de Bellas Artes, además de *San Jerónimo Penitente* (Figura 7), expone otra de sus obras de tamaño natural, la *Virgen de Belén*, que también fue analizada en el transcurso del Proyecto (Figura 1) (Križnar *et al.* 2009). Los resultados de los análisis de los pigmentos revelaron que San Jerónimo ha sufrido varias intervenciones. En la mayoría de los puntos analizados se observan picos más o menos altos de Ba, Ti, y Zn, que revelan una intervención general. Se observa además la presencia de otra actuación importante a base de blanco de Pb sobre la anterior. La base de la escultura, que simula un suelo rocoso, y la cruz, salvo la zona que sujeta la mano, son creaciones posteriores. Entre los pigmentos empleados se encontraron, además de blanco de Pb, un ocre (amarillo o rojo) y cinabrio, todos usados para el color de la encarnadura. Los labios fueron pintados, sin embargo, con ocre rojo. El pigmento marrón es sombra natural o tostada. En varias zonas de la encarnadura se observan picos



Fig. 7. Pietro Torrigiano: *San Jerónimo Penitente*, escultura en barro policromado (hacia 1525).

de Cu, que revelan el empleo de una pequeña cantidad de un verde o azul a base de Cu para obtener la tonalidad deseada de la piel. Los mismos pigmentos se encontraron también en la escultura de la *Virgen de Belén*, donde la paleta de colores es más amplia e incluye además azurita, amarillo de Pb-Sn y un negro orgánico, así como numerosos elementos ornamentales dorados.

Azulejo, cerámica pintada (siglo XVII)

Se seleccionó uno de los azulejos de la colección del museo para ver los materiales y pigmentos empleados. El azulejo está en un marco de cerámica marrón (Figura 8) donde predomina sobre todo el Pb, cuyos números de cuenta son diez veces más altos que los de Pb en el azulejo central. También contiene bastante Fe, mientras que hay menos Si, Ca, Cu y Zn en comparación con



Fig. 8. Azulejo, cerámica pintada (siglo XVII).

el motivo central. La composición es claramente diferente a la del azulejo, por lo tanto el marco no es original. También en el azulejo central predominan picos de Pb, que se deben sobre todo al vidriado, ya que se usaba como fundente en la cerámica vidriada. Ésta solía contener también cristales de caserita para obtener la opacidad blanca, sin embargo, en los espectros obtenidos de éste azulejo no se observan picos de Sn que identificarían la presencia de caserita (dióxido de estaño). En parte, Pb probablemente pertenezca también al pigmento blanco de plomo, empleado en la mayor parte de la superficie. El color amarillo es amarillo de antimonio, llamado también de Nápoles, identificado a base de la presencia de picos de Zn, Mn y Sb. El marrón es sombra natural o tostada, ya que se observan picos de Mn y Fe juntos. El pigmento verde es uno basado en cobre. El color azul es el más común empleado para azulejos, esmalte, como lo ponen de manifiesto los picos bien definidos de Fe, Ni, Co, As.

Pedro Navía Campo: *San Felipe Neri*, dibujo sobre papel (1924-60)

El boceto es una de las pocas obras que se han analizado en soporte de papel (Figura 9). La mayoría de los elementos químicos que se observan en los espectros, pertenecen al papel, ya que la



Fig. 9. Pedro Navía Campo: *San Felipe Neri*, dibujo sobre papel (1924-60).

capa de color es muy fina y los rayos X la traspasan fácilmente. Los picos más altos son los de Fe y Ca y son, por tanto, los componentes inorgánicos predominantes en el papel, en cuya composición también hay elementos orgánicos que el equipo de XRF no puede detectar. El color rojo debe ser también de origen orgánico, posiblemente laca, pues no aparecen los espectros característicos de un pigmento rojo inorgánico. El color amarillo es difícil

de identificar, pero las cuentas de Pb un poco más elevadas muestran un posible empleo de un amarillo de Pb, quizás mezclado con minio para obtener un tono anaranjado. El color marrón es un ocre tostado, que en las zonas claras muestra presencia de una mezcla de amarillo de Pb y blanco de Ti. El color verde se consiguió con un verde de óxido de cromo. El color azul es de origen orgánico, mezclado con una cantidad alta de blanco de Zn. También el pigmento negro es orgánico, probablemente de huesos o de marfil, ya que las cuentas de Ca suben en los puntos analizados. Se trata de un boceto de fecha bastante moderna, por lo tanto no extraña encontrar pigmentos nuevos como blanco de Zn o verde de cromo.

IV. CONCLUSIONES

La puesta a punto de nuevas técnicas para la caracterización no destructiva de obras de arte es hoy en día un reto científico de gran interés. La realización del Proyecto recién terminado ha permitido cumplir con varios objetivos. (a) Ofrecer apoyo directo en las tareas de estudio, restauración e intervenciones preventivas por los responsables del Museo. Hasta la fecha se han caracterizado una treintena de obras de arte, sobre todo pintura en tabla de las escuelas flamenca y sevillana. (b) Creación de una base de datos sobre la paleta y técnicas de ejecución de los distintos autores que conforman parte significativa de una de las pinacotecas más importantes de nuestro país. (c) Formación de un equipo interdisciplinar estable que permita un aprovechamiento óptimo de los recursos técnicos disponibles.

BIBLIOGRAFÍA

- ALDROVANDI, A. y PICOLLO, M. 2003: *Metodi di documentazione e indagini non invasive sui dipinti*. Il Prato editrice. Padova.
- DOERNER, M. 1984: *The Materials of the artist and their use in painting with notes on the techniques of the old masters*. Harvest, Harcourt. San Diego, New York, London.
- EASTAUGH, N., WALSH, V., CHAPLIN, T. Y SIDDALL, R. 2008: *Pigment Compendium. A Dictionary and Optical Microscopy of Historical Pigments*. Elsevier y Butterworth-Heinemann. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo.
- GETTENS, J. y STOUT, G. L. 1966: *Painting materials*. A short encyclopedia. Dover Publications. New York.
- GÓMEZ, M. L. 2000: *Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte*. Cátedra, Instituto del Patrimonio histórico español. Madrid.
- KNOEPFLI, A.; EMMENEGGER, O.; KOLLER, M. y MEYER, A. (eds.). 1990: *Reclams Handbuch der künstlerischen Techniken*. Vol 1-3. Philipp Reclam jun. Stuttgart.
- KRIŽNAR, A.; MUÑOZ, M. V.; DE LA PAZ, F.; RESPALDIZA, M. A. y VEGA, M. 2008a: "Non-destructive FRX analysis of pigments in a 15th century panel painting", *Actas del 9th International congress on NDT of Art ART2008 (Jerusalem 2008)*. Publicación en Internet: <http://www.ndt.net/article/art2008/papers/177Kriznar.pdf>:1-10.
- KRIŽNAR, A.; MUÑOZ, M. V.; DE LA PAZ, F.; RESPALDIZA, M. A. y VEGA, M. 2008b: "Dos tablas de Vasco Pereira del Museo de Bellas Artes de Sevilla analizadas por FRX portátil". *Actas de la 9ª Reunión Red Temática del CSIC de Patrimonio Histórico y Cultural (Sevilla 2008)*, CSIC. Sevilla: 83-84.
- KRIŽNAR, A.; MUÑOZ, M. V.; DE LA PAZ, F.; RESPALDIZA, M. A. y VEGA, M. 2008c: "A comparison of pigments applied in an original painting by El Greco and in a copy by an anonymous follower". *Libro de resúmenes del Cultural Heritage Research Meets Practice CHRESP 2008 (Ljubljana 2008)*. NUK. Ljubljana: 245-246.
- KRIŽNAR, A.; MUÑOZ, M. V.; DE LA PAZ, F.; RESPALDIZA, M. A. y VEGA, M. 2008d: "Pigment identification using x-ray fluorescence in a polychromated sculpture by Pedro Millán". *X-Ray Spectrometry XXXVII/ 4*. John Wiley & Sons, Ltd.: 355-359.
- KRIŽNAR, A.; MUÑOZ, M. V.; DE LA PAZ, F.; RESPALDIZA, M. A. y VEGA, M. 2008e: "Polychromated sculptures of Mercadante and Millán analysed by the FRX non-destructive technique." *Lasers in the conservation of Artworks Lacona VII (September 2007)*. En M. Castillejo; P. Moreno; M. Oujja; R. Radvan y J. Ruiz (eds.): *Lasers in the Conservation of Artwork*. Taylor & Francis Group. London, New York, Leiden: 79-88.
- KRIŽNAR, A.; MUÑOZ, M. V.; DE LA PAZ, F.; RESPALDIZA, M. A. y VEGA, M. 2009: "FRX analysis of two terracotta polychromated sculptures by Pietro Torrigiano". *X-Ray Spectrometry, XXXVIII*, John Wiley & Sons, Ltd.:169-174.
- KRIŽNAR, A.; MUÑOZ, M. V.; DE LA PAZ, F.; RESPALDIZA, M. A. y VEGA, M. 2009: "A Diptych by Marcellus Coffermans analysed by portable FRX", *Actas del 37th International Symposium on Archeometry (Siena 2008)*. MONTAGNA, G. 1993: *I pigmenti. Prontuario per l'arte e il restauro*. Nardini editore. Firenze.
- MORENO MENDOZA, A.; PAREJA LÓPEZ, E.; SANZ SERRANO, M. y VALDIVIESO GONZÁLES, E. 1991: *Museo de Bellas Artes de Sevilla*. Ediciones Gever, S.L. Sevilla.
- PACHECO, F. 1990: *El Arte de la Pintura*. 1649. edición crítica Bonaventura Bassegoda y Hugas. Editorial Cátedra. Madrid.
- SECCARONI, C. y MOIOLI, P. 2004: *Fluorescenza X. Prontuario per l'analisi FRX portatile applicata a superfici policrome*. Nardini editore. Firenze.
- SERCHI, M. (ed.) 1999: *Cennino Cennini: Il Libro dell'Arte*. Felice Le Monnier. Firenze.
- SCHRAM, H. P. y HERLING, B. 1995: *Historische Malmaterialien und ihre Identifizierung*. Ravensburg Buchverlag. Stuttgart.
- VOLPIN, S. y APPOLONIA, L. 2002: *Le analisi di laboratorio applicate ai beni artistici policromi*. Il Prato editrice. Padova.
- WEHLTE, K. 2005: *Werkstoffe und Techniken der malerei*. Urania. Stuttgart.
- WEST FITZHUGH, E.; FELLER, R.; ROY A. y BERRIE, B. (eds.) 1987-1997: *Artists' pigments. A Handbook of their history and characterization*. Vol 1-4. National Gallery of Art. New York; Washington. Oxford University Press. Oxford.