

CIENCIA  
PENSAMIENTO  
Y CULTURA

# *arbor*

Volumen CLXXXII

Nº 717

enero-febrero [2006]

Madrid [España]

ISSN: 0210-1963



MINISTERIO  
DE CULTURA



MINISTERIO  
DE EDUCACIÓN  
Y CIENCIA



CONSEJO SUPERIOR  
DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS**

# LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS FÍSICOS DEL IPHE EN 2006

ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura  
CLXXXII 717 enero-febrero (2006) 47-54 ISSN: 0210-1963

**Araceli Gabaldón García**

*Instituto del Patrimonio Histórico Español,  
Ministerio de Cultura*

*ABSTRACT: The Physical test laboratory of the Conservation Scientific Service of Instituto del Patrimonio Histórico Español (IPHE) is specialized in the application of Electromagnetic Radiation properties to the Cultural Goods studies. Besides support given to the other develops IPHE departments and relates institutions, the laboratory performs investigation studies in X rays applications and participates in projects financed and promoted by itself or other institutions.*

*KEY WORDS: Infrared reflectography, Radiographic images digitalization, Gilded metals, Laser.*

## INTRODUCCIÓN

Conocer en profundidad la obra antes de su intervención, es el criterio actual a la hora de afrontar su proceso de conservación y/o restauración. Este conocimiento exige aplicar técnicas adecuadas, entre las que se cuentan aquellas que utilizan las propiedades de las radiaciones electromagnéticas que en el IPHE están a cargo de la Unidad de Estudios Físicos. Además de esta labor de apoyo a los procesos de conservación, en este laboratorio se ejerce una actividad investigadora, participando en proyectos financiados por el antiguo Ministerio de Ciencia y Tecnología o por el propio IPHE, en colaboración con otras instituciones destacadas en la investigación en nuestro país, como son el Consejo Superior de Investigaciones Científicas o la Universidad. Es importante mencionar que para que esta participación sea efectiva es imprescindible el apoyo de la dirección del centro, como ocurre en la actualidad.

Merece la pena destacar que aunque se acometen nuevos desarrollos como el VARIM, la mayor parte de la investigación que se lleva a cabo en este laboratorio es investigación aplicada, con la que se intenta adecuar al estudio de los Bienes Culturales, las nuevas técnicas analíticas desarrolladas en otros campos con más capacidad económica, como son la industria y la medicina. Aunque estos trabajos

**RESUMEN:** El laboratorio de estudios físicos del Servicio Científico de Conservación del Instituto del Patrimonio Histórico Español, esta especializado en la aplicación de las propiedades de la radiación electromagnética al estudio de los Bienes Culturales. Además de dar apoyo al resto de los departamentos del IPHE y a otras Instituciones, ejerce una labor investigadora efectuando estudios inherentes a la actividad propia del laboratorio de rayos X y participando en proyectos financiados y promovidos por el propio laboratorio o por otras instituciones.

**PALABRAS CLAVE:** Reflectografía de infrarrojos, Digitalización de imágenes radiográficas, Metales sobredorados, Láser.

de aplicación puedan parecer a primera vista poco importantes, a mi juicio son el motor que permite avanzar en el conocimiento de los Objetos Artísticos.

## LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Los proyectos financiados por el antiguo Ministerio de Ciencia y Tecnología en colaboración con otras instituciones públicas, en los que está participando el laboratorio en estos momentos son: VARIM, INAURO e ICP-SIN

Como actividad propia del departamento, destacaremos el proyecto CYDAF, financiado por el IPHE.

A continuación se expone de forma somera el contenido de estos proyectos.

### **VISIÓN ARTIFICIAL APLICADA A LA REFLECTOGRAFÍA DE INFRARROJOS MECANIZADA (VARIM)**

Es un programa PROFIT con la participación del IPHE, la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación (ETSIT)<sup>1</sup>, y las empresas INFAIMON y SERVIMATSMOS<sup>2</sup>. Se ha

desarrollado durante tres años y los resultados están a punto de ser publicados. Este proyecto fue promovido en su día por nuestro laboratorio y los trabajos están próximos a su fin, por lo que me detendré algo más en su explicación.

VARIM surgió motivado por el deseo de resolver los problemas que aparecen en los análisis de reflectografía de infrarrojos (RI). Se quería agilizar la captura de las imágenes e implantar un software capaz de componer el mosaico de forma automática. Además de cubrir nuestras necesidades nos planteamos dar servicio al resto de instituciones y estudiosos que aplican la RI, por lo que software sería de libre acceso vía Internet y desarrollado para plataformas Windows, entorno utilizado en los centros que dependen de las Administraciones Públicas Españolas.

Recordemos que la RI es una técnica que habitualmente se viene utilizando en el estudio de las pinturas con el fin primordial de analizar el dibujo preparatorio del artista, dato de gran importancia en el estudio de los autores.

La obtención de imágenes reflectográficas se hacía inicialmente por procedimientos analógicos. El método consistía en captar imágenes adyacentes, a modo de mosaico, de pequeños fragmentos de la pintura con una cámara que disponía de detector sensible a la radiación infrarroja, visualizándolas en un monitor y fotografiándolas posteriormente. Las imágenes captadas, una vez procesadas, se unían manualmente como si se tratara de un puzzle.

El reflectógrafo además de tener una respuesta espectral idónea para la captación del dibujo subyacente se caracteriza por tener una resolución espacial superior a la de los estándares de vídeo analógico. Con la aparición de sistemas capaces de digitalizar la señal proporcionada por la cámara reflectográfica se intentó encontrar una tarjeta capaz de digitalizar la imagen obtenida sin pérdida de resolución<sup>3</sup>. Después de una larga búsqueda, se encontró por fin una tarjeta que satisfacía nuestras necesidades, instalada y funcionando en un PC<sup>4</sup>.

Al tiempo que se van capturando las imágenes se digitalizan y almacenan en el ordenador y se pueden tratar posteriormente con los distintos programas de análisis de imágenes disponibles en el mercado. El mayor avance hasta entonces se había conseguido en un proyecto europeo conocido por VIPS liderado por la National Gallery, que

permitía unir las imágenes dos a dos marcando manualmente un punto y que trabaja en sistemas operativos UNIX, entorno que no es habitual en la Administración Española.

La digitalización de las imágenes fue sólo el primer paso, ya que había que solucionar una serie de problemas asociados a la RI que no se habían abordado en ningún momento.

Los problemas eran tanto *mecánicos* -la cámara se desplazaba manualmente, sustentada en distintos soportes convencionales dependiendo de que se trabajara en el laboratorio o en un andamio- como *de captación* -debidos a imperfecciones en la óptica y el sensor de la cámara que producen deformaciones geométricas y ruido de fondo en las imágenes capturadas- como *informáticos* -para conseguir la captación automática de las imágenes y su posterior procesado. Téngase en cuenta que el mosaico puede estar formado por docenas de imágenes.

## DESARROLLO DE VARIM

El proyecto ha comportado una fase de desarrollo y otra de aplicación a un caso práctico.

En la fase de desarrollo, se partió de la idea de que el desplazamiento debía hacerlo la cámara y no la obra, por lo que se diseñó y construyó una estructura mecánica compuesta por dos elementos fundamentales independientes entre sí:

- un marco fijo llamado *cuadro de cámara* que permite el desplazamiento controlado de la cámara desde el ordenador, cubriendo una superficie de 1mx1m, y que se puede subir a un andamio (Fig. 1).
- una *estructura móvil*, a la que se ancla el cuadro de cámara y que por la acción de dos motores de control manual se puede desplegar elevando la cámara hasta una altura de 6 m. (Fig. 2).

Al tiempo, en la ETSIT se comenzó a desarrollar el software que integraría en una sola aplicación, denominada VARIM como el proyecto, la captación automática y la composición del mosaico.

Se ha conseguido un programa que además de resolver los problemas técnicos que se plantearon inicialmente, tiene

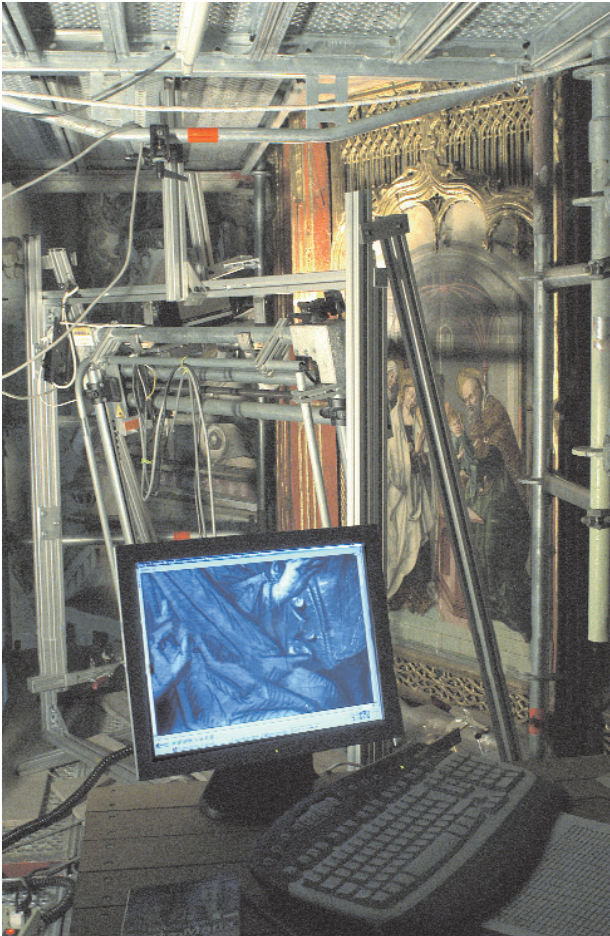


Figura 1. Cámara situada en el cuadro de cámara en el andamio de la Iglesia de Sta. Mª de Trujillo.

una interfaz sencilla y práctica que permite al usuario introducir una serie de parámetros que configuran el proceso de captura de la obra a analizar. Estos parámetros se podrán guardar en disco y cargarse automáticamente, permitiendo el encadenamiento de varias sesiones de trabajo y facilitando así la tarea al usuario.

El desarrollo se ha dividido en los siguientes módulos.

- **Módulo de control del sistema mecanizado** encargado de situar la cámara en el punto deseado. Para su utilización se debe disponer tan sólo de una conexión de red local que permite la comunicación con los motores. Sin embargo, VARIM también puede conectarse a un PC que no esté acoplado al sistema mecanizado para poder usar el resto de sus funciones.



Figura 2. Inspección reflectográfica del retablo de la Iglesia de Sta. Mª de Trujillo utilizando la estructura móvil.

- **Módulo de adquisición de video** que permite adquirir imágenes de una cámara analógica. Para poder disponer de esta función, tal y como aparecerá en Internet, es necesario tener instalado en el PC una tarjeta de adquisición de video *PCVisionPlus®* de *Coreco Imaging*. No obstante está preparado para que un usuario con los debidos conocimientos informáticos pueda programar cualquier otra tarjeta o cámara conectada al PC. Durante la adquisición la imagen se muestra en tiempo real, lo que permite tener un amplio control del desarrollo del proceso.
- **Módulo de corrección de iluminación.** Dos imágenes contiguas pueden caracterizarse por una apreciable diferencia en sus niveles de luminosidad en sus zonas adyacentes, que no tiene que ser debido necesariamente a defectos de iluminación, sino que puede ser producida por otros factores como son el calentamiento de la cámara, tiempo de exposición, etc. El software contempla estas diferencias y tiene la posibilidad de

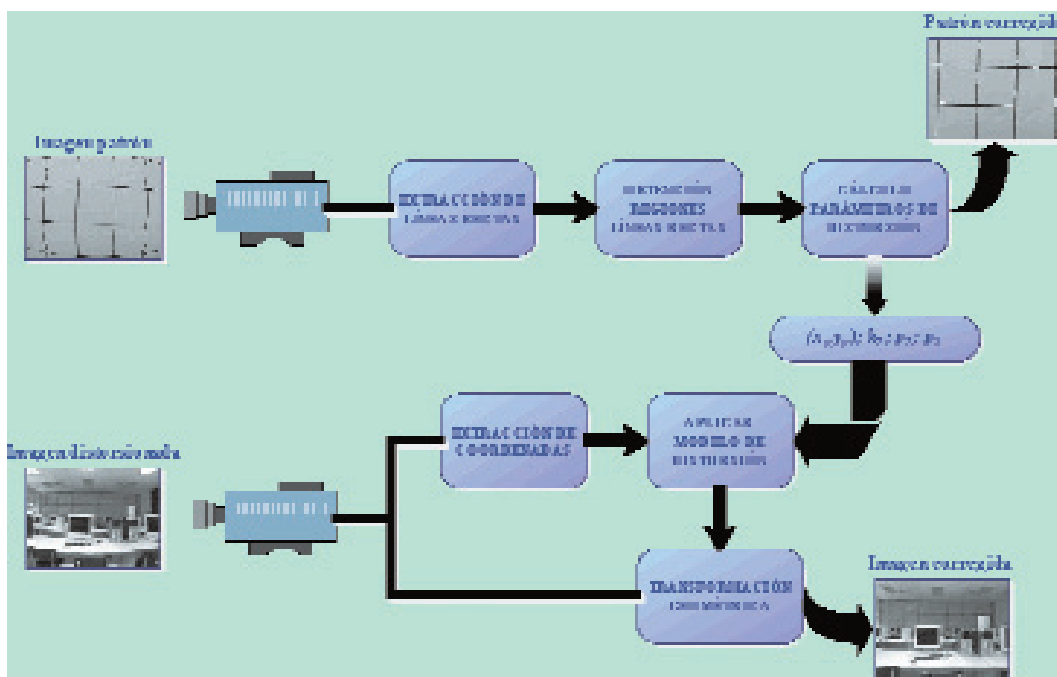


Figura 3. Esquema del módulo de corrección de geométrica.

efectuar una compensación luminosa. Ésta consiste en mantener unas condiciones de luminosidad homogéneas entre las distintas imágenes para que la unión se realice con mayor facilidad y el resultado sea de mayor calidad, proporcionando un mosaico sin contrastes de luz exagerados.

- *Módulo de corrección de geométrica* que es una herramienta capaz de corregir la distorsión geométrica asociada a toda cámara de adquisición para lo que se utiliza una imagen patrón de referencia para calcular la distorsión de cada cámara. En la figura 3 se expone el proceso de una manera esquemática.

El último paso es la composición *automática del mosaico*, esta composición no invalida que se pueda efectuar una unión manual. La elección de una u otra dependerá de las necesidades del usuario en cuanto a resultados, velocidad de procesamiento y comodidad.

*La unión manual* se hace de una forma muy sencilla seleccionando puntos similares en dos imágenes contiguas. Existen dos métodos de unión manual donde se eligen dos o cuatro puntos coincidentes que se encontrarán en la zona de solape. A continuación basta con ejecutar el comando de unión y se crea una imagen resultante a partir de dos contiguas. El tiempo que transcurre entre la ejecución de la

orden y la aparición en pantalla de la imagen suma depende del tamaño de la imagen, pero en el caso más desfavorable este es del orden de segundos. Esta unión es muy útil para componer mosaicos digitalizando negativos antiguos procedentes de reflectografías en las que, por dificultad de medios, las condiciones de captación de las imágenes impidieron colocar el plano de la cámara paralelo a la obra.

*La unión automática* se puede efectuar por filas, por columnas o de todo el mosaico. Esta unión libera al usuario de ir seleccionado punto a punto la unión de cada par de imágenes con lo que agiliza el proceso, pero para llevarla a buen fin es muy importante efectuar la captación controlando todos los parámetros: el paralelismo de la cámara respecto de la obra, iluminación, solape óptimo que proporcionará el desplazamiento secuencial de la cámara tanto horizontal como vertical, establecer las preferencias, etc. Una vez verificados estos valores, resulta sorprendente el escaso tiempo que invierte en obtener el mosaico.

La aplicación práctica se hizo en el retablo de la Iglesia de Santa María de Trujillo, Cáceres. Se dio la circunstancia de que el IPHE iba a acometer el proceso de conservación y restauración de este magnífico retablo atribuido a Fernando Gallego y cuyos estudios previos hubo de hacer el



Figura 4. Detalle del dibujo subyacente e inscripción captado en la inspección inicial, antes de colocar el andamio.

Departamento Científico de Conservación. Ello proporcionó la oportunidad de ensayar VARIM procediéndose a trasladar todo el sistema desarrollado a Trujillo.

Llegados allí en primer lugar se hizo un rastreo reflectográfico en busca de dibujo subyacente (Fig. 2). En las zonas seleccionadas no sólo apareció dibujo preparatorio, sino que también se observaron inscripciones que correspondían al nombre de los colores aplicados en esas áreas (Fig. 4).

La restauración se iba a hacer sin desmontar el retablo, con ayuda de un andamio, y dado que el cuadro de cámara se iba a poder subir a éste se decidió posponer el estudio de la RI hasta después de acabada la limpieza. De esta forma se eliminaba la dificultad añadida por los barnices anti-guós a la detección del dibujo subyacente.

Después de estudiar la situación del retablo se comprobó que estaba colocado en forma de biombo, existiendo entre las pinturas y el muro un pequeño espacio que permitía el acceso de personas y por tanto la colocación de placas radiográficas. Así pues se decidió efectuar un estudio radiográfico y según nuestra información iba a ser la primera vez que se radiografiaba un retablo de estas dimensiones sin desmontar. La robustez de la estructura móvil permitió diseñar un nuevo soporte para montar en él el tubo de rayos X. De este modo se ampliaron las prestaciones de un sistema que inicialmente se había pensado únicamente para reflectografía.

Otra utilidad adicional consistió en colocar en el lugar del reflectógrafo una cámara digital convencional<sup>5</sup> y utilizando la función de desplazamiento controlado de la cámara obtener imágenes fotográficas que, compuestas por medio del VARIM, permitieron reproducciones<sup>6</sup> en papel a un tamaño mayor que el de la propia obra. Por último, aprovechando la propiedad de los detectores de las cámaras digitales (CCD, CMOS...) que registran la fluorescencia en tiempos más cortos que los negativos convencionales, se complementó el estudio mediante fotografía de fluorescencia ultravioleta.

### PROYECTO DE CONSERVACIÓN, RESTAURACIÓN Y TECNOLOGÍA DE LOS METALES DORADOS MEDIEVALES (INAURO)

Se trata de un proyecto multidisciplinar e internacional, dado que en él participan diversidad de profesionales, arqueólogos, restauradores, físicos, químicos etc., pertenecientes a Centros Universitarios públicos y privados, españoles -Ministerio de Cultura IPHE- e italianos del CNR de Roma. Está promovido y liderado por la Universidad Autónoma de Madrid<sup>7</sup> y está en pleno desarrollo en este momento.

Los objetivos que se pretenden son la investigación de la tecnología del dorado, el diagnóstico de los procesos de corrosión y la aplicación del método de conservación y/o restauración más adecuado para la recuperación de los dorados originales, evidentemente haciendo especial hincapié en el proceso de limpieza.

Para cumplir los hitos expuestos se ha establecido un método de trabajo para estas piezas de conservación e intervención muy complicada. El estudio se efectúa sobre un conjunto de piezas diversas, broches de cinturón, fíbulas, atalajes, adornos de muebles, etc., a las que se les aplican las técnicas habituales en este tipo de restauraciones así como otras nuevas en el campo de los objetos artísticos. Entre estas últimas es de destacar la intención de montar un horno de plasma de hidrógeno a baja temperatura en el Campus de la UAM, que será junto con el que se va a instalar en el IPHE, los primeros de la Comunidad de Madrid. Con ello, además, se podrá ofrecer un servicio a numerosos profesionales que no pueden contar con estos equipos debido a su elevado coste, pero que están muy implicados en la conservación y restauración de nuestro Patrimonio.

El proyecto está enfocado fundamentalmente a la conservación pero también contempla otro aspecto no estudiado con anterioridad en nuestro país que es el estudio de los metales dorados medievales.

El método que se está desarrollando y que se va a exponer de una forma muy breve, separa la ejecución de los análisis en dos momentos: los previos que informarán del estado de conservación del objeto y los posteriores al proceso de limpieza que en unión con la investigación histórico-arqueológica contemplada en el proyecto permitirán efectuar el estudio arqueométrico de la tecnología del dorado de este tipo de piezas.

Para los estudios previos se utiliza microscopía electrónica de barrido y microanálisis por dispersión de energías de rayos X (SEM con EDAX), micro difracción de rayos X ( $\mu$ DRX). FTRX y PIXE-RBS (acelerador de iones del Parque Científico de Madrid, UAM) e inspección visual a diferentes aumentos. Es en esta fase en la que el IPHE contribuye al proyecto de una forma más activa aplicando la técnica radiográfica, cuyos resultados se publicarán en breve plazo.

En la fase de limpieza, junto a los procedimientos tradicionales manuales y químicos, se introducen otros métodos poco comunes como son los electroquímicos, láser y plasma frío.

Posteriormente a la restauración y debido a la posibilidad que se tiene de utilizar una de las líneas de extensión del acelerador de partículas recientemente instalado en el Campus de la UAM, el micro haz se utiliza para efectuar análisis con haces de iones (PIXE)<sup>8</sup>, técnica de muy reciente utilización en el campo de los Bienes Culturales. Además se repiten los análisis SEM con EDAX y se introduce la fluorescencia dispersiva de rayos X.

Los resultados que se han obtenido hasta ahora son muy satisfactorios y ya han dado lugar a los trabajos siguientes:

- Barrio, Campanella, Ferretti, Pardo, Retuerce, *Objects from the ancient site of Qalat Rabah (Calatrava la Vieja): a case study on the characterization and conservation of Islamic gilded bronzes from Spain* en Proceedings of Metal 2004, ICOM-CC, National Museum of Australia, Octubre 2004, 173-184
- Barrio, Ferretti, Pardo y Arroyo, *Conservación y Restauración del Patrimonio Arqueológico e Innovación tecnológica:*

*los metales arqueológicos sobredorados de la Edad Media en España*, 2º Congreso Latinoamericano de Restauración de Metales, Grupo Latinoamericano del ICOM-CC, Rio de Janeiro 25-27 de Julio, 2005, 159-178.

- Barrio, Climent, Enguita, Pardo, Migliori, Ferretti, *Aplicación de la técnica de haces de iones (IBA) en la investigación para la conservación de los dorados medievales islámicos de Qalat Rabah (Calatrava la Vieja, Ciudad Real)*, II Congreso Internacional Conservación e Investigación del Grupo Español del International Institute for Conservation, Barcelona, Noviembre del 2005.

### PROYECTO DE ESTABLECIMIENTO DE LA COMPOSICIÓN Y ESTRATIGRAFÍA DE OBRAS DEL PATRIMONIO SIN TOMA DE MUESTRA MEDIANTE UN SISTEMA MODIFICADO DE LA-ICP/MS (ICP-SIN)

El proyecto está promovido y liderado por la Universidad de Barcelona<sup>9</sup> y en él además se cuenta con participación del Archivo de la Corona de Aragón y del IPHE, estando en su fase inicial.

El objetivo fundamental que se pretende con esta investigación es la aplicación de la espectroscopía de masas con acoplamiento de plasma inducido y ablación láser (LA-ICP/MS) a la caracterización material de las obras del patrimonio.

La espectroscopía de masas con acoplamiento de plasma inducido y ablación láser (LA-ICP/MS) es una evolución de la técnica ICP/MS que proporciona información elemental y estratigráfica sobre los componentes mayoritarios, minoritarios y trazas presentes en un sólido, sin que para ello resulte necesario la toma de una muestra. La gran ventaja que supondría la aplicación del LA-ICP/MS al estudio del patrimonio, se encuentra totalmente limitada por el reducido tamaño de las celdas de ablación en las que es necesario introducir el sólido para proceder a su análisis. No existe ningún equipo comercial ni prototipo que permita el estudio de sólidos de tamaño superior a 5x5x5 cm. aproximadamente. Es este proyecto se pretende superar esta limitación diseñando, acoplado y aplicando un equipo LA (gf)-ICP/MS para el estudio de obras de gran formato (gf), sin que sea necesario la toma de una muestra. El desarrollo incluirá la utilización y focalización de una fuente láser independiente, el diseño y ensayo de una celda de ablación

para obras de gran formato y el acoplamiento del sistema láser-celda a un detector ICP/MS actualmente existente en la Universidad de Barcelona. Las condiciones de análisis se optimizarán, mediante patrones, con el propósito de minimizar el microdeterioro sufrido por la obra durante el estudio. El sistema, una vez probado, se aplicará a la caracterización de pinturas, grabados y manuscritos reales.

### CATALOGACIÓN Y DIGITALIZACIÓN DEL ARCHIVO RADIOGRÁFICO (CYDAR)

Para el investigador especializado en bienes culturales cada análisis que se efectúa en una obra es una valiosa fuente de información, no sólo para el conocimiento de ese objeto, sino como precedente para estudios en futuras obras; dada la inexistencia de patrones que reflejen fidedignamente la forma de trabajar de un artista, es importantísimo contar con una base de datos de referencia. Por ello es muy importante destacar la tarea de catalogación y digitalización que se ha emprendido en el laboratorio con el fin de facilitar el estudio y la conservación de la documentación radiográfica obtenida a lo largo de más de dos décadas de estudios. CYDAR, que es como se conoce este trabajo, es digno de mención no sólo por el sistema de digitalización que se va a utilizar, sino por su adecuación a la diversidad de documentos radiografiados de que se dispone.

Finalizado este proyecto los usuarios podrán efectuar rápidas consultas sin necesidad de manipular las placas radiográficas, documentos testigos del estado de conservación de la obra en un momento concreto y por lo tanto únicos e irrepetibles.

### DESARROLLO CYDAR

Como se ha indicado, este proyecto promovido y financiado íntegramente por el IPHE, trata de la catalogación y digitalización del archivo radiográfico. No entraremos aquí en la descripción de las tareas de catalogación y clasificación por temas, sin las que la recuperación de la documentación sería inviable, sino que en estas líneas se tratará únicamente de la digitalización, que constituye una verdadera innovación en este campo.



*Figura 5. Imagen digitalizada de la radiografía de una pintura, que muestra cómo se puede obtener información incluso de la zona interferida por el travesaño.*

El sistema de digitalización que se va a utilizar mediante tecnología de lectura láser de hasta una densidad de 4,7 y con tamaños de píxel explorado por óptica entre 50 y 400 micrómetros es específico para radiografías. La profundidad espectral, en captura directa, 8 y 12 bits por píxel (Fig. 5).

Como se ha comentado la diversidad de radiografías a digitalizar no permite aplicar una tabla de conversión de niveles de gris (LUT) única, por lo se está desarrollando un software<sup>10</sup> que permita elegir la LUT de trabajo específica para cada radiografía antes de su digitalización. Asimismo, con el fin de garantizar la fiabilidad del proceso y permitir efectuar estudios comparativos se utilizará una radiografía patrón para calibración que lleve asociada una LUT lineal de operación estándar.

Está por decidir cuál de los formatos TIFF, RAW o DICOM se utilizará para grabar las imágenes para su almacenamiento; para la exportación se usarán formatos con compresión, TIFF o JPG.



Otro pequeño detalle, pero no por ello menos necesario ha sido la adaptación al escáner de una bandeja y regleta para ayuda en la alimentación de radiografías de gran tamaño.

Con un sistema tan potente como el que se ha descrito a grandes rasgos, se espera poder dar servicio en fecha no muy lejana a todos los estudios de los Objetos Artísticos.

Para terminar, sólo resta decir que exponer en profundidad las características de estos proyectos exigiría un espacio

mucho mayor y la participación de todos los integrantes en los mismos, es por lo que se ha intentado comentar aquellos aspectos que permitan al lector hacerse una idea de lo que se pretende y del punto en el que se encuentran, incluyendo los nombres y los correos electrónicos de sus líderes. También espero que sirva para conocer el enfoque de los trabajos que junto con Tomás Antelo y con la colaboración puntual de Miriam Bueso, Yolanda Irazabal y Carmen Vega se llevan a cabo en el departamento de estudios físicos del IPHE.

#### NOTAS

- 1 Juan Torres Arjona: [jta@gatv.ssr.upm.es](mailto:jta@gatv.ssr.upm.es)
- 2 Infaimon: [infaimon@infaimon.com](mailto:infaimon@infaimon.com) y Servimatismos: [servimatismos@servimatismos.com](mailto:servimatismos@servimatismos.com)
- 3 Los sistemas de digitalización existentes en el mercado procesaban las señales CCIR de 625 líneas pero no aceptaban la proporcionada por la cámara.

- 4 Gracias al apoyo incondicional de Salvador Giró
- 5 NIKON D-100
- 6 Las imágenes fueron reproducidas por INTERFOTO en un proceso mixto químico-digital.
- 7 Joaquín Barrio, Dpto. Prehistoria y Arqueología: [joaquin.barrio@uam.es](mailto:joaquin.barrio@uam.es)
- 8 Particle Induced X-Ray Emission
- 9 José Francisco García Martínez: [jfgarcia@ub.edu](mailto:jfgarcia@ub.edu)
- 10 SERING SOFT, S.A.

**Recibido:** 20 de febrero de 2006

**Aceptado:** 28 de febrero de 2006