



al monitor, un sistema videoprint de Sony grava en un suport de paper o digital, la imatge mostrada en el monitor. Mitjançant aquest sistema es pot realitzar una profunda anàlisi microscòpica i macroscòpica de l'obra, així com presentar estudis microfotogràfics i macrofotogràfics. Aplicacions directes de tot això són l'estudi de clivellats, integració de la signatura, pinzellades, obtenció de micromostres i, fins i tot, poder observar si un pigment és de naturalesa mineral o sintètica (l'ultramar mineral enfront de l'ultramar sintètic, per exemple).

CONCLUSIÓ

Veient el que s'ha exposat, resulta evident que la ciència pot i ha de jugar un paper molt important en l'anàlisi i conservació d'obres patrimonials. És indubtable que hi ha grans professionals amb la capacitat i experiència suficients per decidir si un quadre pot ser d'un artista en concret. Però també és exigible –i la societat n'està prenent consciència– l'objectivitat, serietat, precisió i interdisciplinarietat amb la que s'han de portar a terme aquests estudis. No són pocs els casos en què quadres certificats i atribuïts a un artista determinat han estat analitzats i s'han identificat pigments patentats posteriorment a la mort del suposat pintor.

La ciència aplicada a l'anàlisi i conservació de l'Art ja és un fet que no ha de ser passat per alt. Resulta paradoxal que el terme "tecnologia" provingui del vocable grec "TECHNE", el qual simplement significa "ART".

AGRAÏMENTS

Aquesta investigació està finançada per dos projectes del govern espanyol de referències TIC 2002-03040 (CICYT) y TEC 2005-07239/TCM (CICYT).

BIBLIOGRAFIA

- R.J.H. CLARK, *Chemical Society Reviews*. 1995; 24: 187.
- J. HILDEHAGEN i K. DICKMANN, *Les lasers dans la conservation des oeuvres d'art (Lacona IV)*. 2001; 1: 118.
- W. KAUTEK, S. PENTZIEN, J. KRÜGER i E. KÖNIG, *Restauratorenblätter (Lacona I)*. 1995; 1: 69.
- S. PAGÈS-CAMAGNA, S. COLINART i C. COUPRY, *Journal of Raman Spectroscopy*, 1999; 30: 340.
- S. RUIZ-MORENO, J.M. YÚFERA, M.J. MANZANEDA, M.J. SONEIRA, P. MORILLO i T. JAWHARI, *Mundo Electrónico*, 1996; 265: 30.
- S. RUIZ-MORENO, C. SANDALINAS, R. PÉREZ, A. GABALDÓN i M.J. SONEIRA, *Journal of Cultural Heritage*, 2003; 4: 309.
- S. RUIZ-MORENO, A. LÓPEZ-GIL, A. GABALDÓN i C. SANDALINAS, *Journal of Raman Spectroscopy*. 2004; 35: 640-645.
- A. ZERGIOTI, A. PETRAKIS, V. ZAFIROPULOS, C. FOTAKIS, A. FOSTIRIDOU i M. DOULGERIDIS, *Restauratorenblätter (Lacona I)*. 1995; 1: 57.

NOTA

¹ Aquest article ha estat traduït del castellà al català per Montserrat Artigau i Miralles, professora de Conservació i Restauració d'Escultura de l'ESCRBCC.

El láser y las obras de arte

El patrimonio cultural debe ser analizado, conservado, datado y catalogado. Pero todo ello sólo es posible llevarlo a cabo, de una forma seria y objetiva, si se unen conocimientos cualificados de distintos ámbitos profesionales.

Dr. Sergio Ruiz-Moreno, Alejandro López-Gil Serra y Judith Miralles Roca. Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones, Universitat Politècnica de Catalunya. www.tsc.upc.edu/raman

EL CONOCIMIENTO DEL ARTE

El estudio del Arte presenta una serie de necesidades que deben ser afrontadas. Entre otras, destacarían la datación y autenticación de las obras, el conocimiento preciso de los materiales utilizados por el artista y la conservación y/o restauración de los objetos artísticos. Es evidente que, según la técnica artística empleada, se añadirán otras muchas necesidades. Para el caso de obras pictóricas como, por ejemplo, en las denominadas pinturas de caballete, es importante también la detección de repintes, la interpretación socio-histórica del momento en que se ejecutaron, el análisis estilístico o evidenciar el posible dibujo subyacente. El estudio de una obra de arte requiere, por tanto, de una tarea interdisciplinar. En este sentido, las tecnologías fotónicas han demostrado, desde hace ya algunas décadas, una gran eficacia en el análisis y conservación del patrimonio cultural y su aplicación ha sido creciente dadas las excelentes prestaciones que ofrecen.

LAS TECNOLOGÍAS FOTÓNICAS AL SERVICIO DEL ARTE

Este tipo de tecnologías solucionan eficazmente gran parte de las necesidades descritas anteriormente. Se basan en la interacción entre la radiación óptica y la materia. Según sea el objetivo perseguido, podemos hablar de interacción con fines analíticos, lo cual aporta información molecular, o de interacción limpiadora que consigue la eliminación controlada de sustancias espurias no deseadas (un caso habitual en pintura al óleo sería el de un barniz oxidado). Esta tarea de limpieza se consigue utilizando láseres pulsados de radiación infrarroja para superficies pétreas y láseres pulsados ultravioleta para limpieza de obras policromadas. Ambas técnicas se basan en el proceso conocido como fotoablación, es decir, en la eliminación controlada de capas no deseables mediante la incidencia de paquetes temporales de fotones.

Por otro lado, el análisis de los materiales artísticos se lleva a cabo mediante láseres de onda continua y, esencialmente, consiste en hacer interactuar una luz monocromática con un material cuya composición molecular se quiere determinar.

Veamos a continuación, con más detalle, las características y prestaciones de ambos procesos fotónicos (limpieza y análisis).

CONSERVACIÓN DE OBRAS DE ARTE CON LÁSER PULSADO

En 1973 John Asmus y un equipo interdisciplinar de profesionales demostraron en Venecia que los pulsos ópticos de un láser IR podían eliminar las capas de suciedad del patrimonio pétreo de aquella ciudad. Consiguieron unos resultados más efectivos y menos agresivos que los obtenidos con los métodos convencionales de abrasión y disolventes. Dos décadas después Costas Fotakis, en la isla de Creta, fue pionero en la eliminación de sustancias espurias adheridas a los iconos griegos y sin dañar su policromía (véase la figura 1). En esta ocasión el láser pulsado empleado fue ultravioleta, el cual resulta idóneo para eliminar viejos barnices y sus adherencias poliméricas. Había nacido lo que en términos sajones se denomina "laser cleaning", es decir, la limpieza con láser (pulsado). En síntesis, si el láser pulsado IR es adecuado para la eliminación de superficies pétreas, el láser pulsado UV lo es para superficies policromadas. Estos dos procesos se fundamentan en sus respectivos efectos de fotoablación térmica y no térmica. Ya sea con uno o con el otro, se ha conseguido también la limpieza de vidrieras, mapas, pergaminos, materiales textiles, marfil, acuarelas y óleos. Todo ello realizado mediante un proceso controlado y preciso.



ANÁLISIS MOLECULAR NO DESTRUCTIVO: ESPECTROSCOPIA RAMAN

Como ya hemos comentado, otro tipo de láseres, los de onda continua, ofrecen al mundo del Arte una aplicación no menos importante que la anterior. Se trata de la posibilidad de identificar molecularmente los materiales constitutivos con los que la obra artística fue ejecutada (pigmentos, capas de imprimación y de preparación, aglutinantes y soportes). Esta identificación espectral se consigue gracias al efecto Raman, descubierto antes de la invención del láser y por el cual Chandrasekhara Venkata Raman (Trichinopoly, 1888 – Bangalore, 1970) recibió el Premio Nobel de física en 1930. En pocas palabras, este efecto se debe a la propiedad que tiene la materia de emitir frecuencias “propias”, esto es, características de las moléculas que la integran, cuando es iluminada por una radiación monocromática (láser). No deja de ser sorprendente que Raman demostrase el efecto que lleva su nombre ¡tres décadas antes de la aplicación del primer láser experimental!

Dado que todo pigmento tiene una época de utilización y, en muchos casos, una fecha concreta de aparición, se comprende la importancia que tiene disponer de una amplia base de datos con los espectros Raman de los pigmentos utilizados por los artistas a lo largo de la historia. Si analizamos con espectroscopia Raman una obra de arte podremos determinar la paleta del artista y llegar a saber no sólo su época y escuela, sino también aspectos relacionados con su autenticidad (o falsedad) y estado de conservación. Debe destacarse la no destructividad de esta técnica láser a la hora de realizar un análisis, ya que ello es esencial en la investigación, conservación y catalogación de una obra de arte. Por otra parte, el tipo de láseres empleados en espectroscopia Raman es compatible con la tecnología de fibra óptica, lo que confiere a los equipos gran manejabilidad, seguridad para el usuario y operatividad para trabajar directamente y a distancia sobre el objeto analizado.

EL LABORATORIO DE ESPECTROSCOPIA RAMAN DE LA UPC

La Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) dispone de un avanzado laboratorio (véase la figura 2) en el que a lo largo de los diez últimos años se ha analizado la policromía de múltiples obras patrimoniales ya sean en soporte de lienzo, madera, papel o cerámica.

El laboratorio cuenta con tres láseres continuos (IR, 785 nm; verde, 514.4 nm y rojo, 632.8 nm) para espectroscopia Raman y de un láser pulsado (seleccionable en un rango del UV al IR) para la limpieza de superficies escuras.

El análisis Raman se lleva a cabo mediante un sistema modular Induram (Jovin Yvon, grupo Horiba) con tecnología de fibra óptica. Su funcionamiento es como sigue: la luz monocromática generada por el láser es guiada por una fibra óptica hasta el cabezal óptico. En éste se realizan funciones de filtrado, enfoque y detección. Un objetivo enfoca el haz de excitación sobre la obra analizada y a la vez colecta la radiación dispersada por la materia y la guía de nuevo mediante otra fibra óptica hasta el monocromador. Aquí son separadas las distintas componentes espectrales de la luz para que incidan en un detector CCD. Tras una conversión A/D, la señal Raman llega a un PC para su visualización, almacenamiento, tratamiento e interpretación. Cabe destacar que se dispone de una amplia base de datos (espectros) de cientos de pigmentos patrones históricos para su comparación con los espectros obtenidos. Como ejemplo experimental, en la figura 3 se presenta el análisis Raman de una obra de Theodor Gaspar Smitz. Han sido identificados los siguientes pigmentos: blanco de plomo, bermellón, amarillo plomo-estaño tipo I, *massicot* y negro de carbón. Se trata de unos materiales usuales y característicos del siglo XVII.

Para la limpieza óptica contamos con un sistema Polaris III de New Wave Research de altas prestaciones, flexible y extremadamente compacto. El sistema generador de radiación pulsada se basa en un láser de Nd:YAG (1064 nm) que, en combinación con cristales ópticos no lineales y los filtros dicróicos adecuados, permite obtener el segundo, tercer y cuarto armónicos, esto es, longitudes de onda de 532, 355 y 266 nm, respectivamente. De esta manera se dispone de radiación láser pulsada en tres rangos cualitativamente diferenciados: infrarrojo, visible y ultravioleta. Así, la limpieza óptica, ya sea de superficies pétreas con radiación IR pulsada, o de superficies policromadas con radiación UV pulsada, puede llevarse a cabo mediante un único sistema.

En el laboratorio de la UPC existen otros dos equipos no menos importantes que se comentan a continuación. Por una parte, utilizamos una cámara sensible a la radiación IR (Lambda Scientifica) que permite evidenciar el dibujo subyacente (y posibles arrepentimientos) que el autor realizó con carboncillo a modo de boceto previo (véase la figura 3, detalle). Por otra parte, un estereomicroscopio Leica MZ-12 con lentes intercambiables (quirúrgica y 1.6x) y unos oculares de 25x nos ofrece hasta un aumento máximo de 400x. Acoplada a este equipo, una cámara CCD de Sony envía la señal del MZ-12 hasta un monitor de TV. Por último, conectado al monitor, un sistema videotape de Sony graba en soporte de papel o digital la imagen mostrada en el monitor. Mediante este sistema se puede realizar un profundo análisis micro y macroscópico de la obra, así como presentar estudios micro y macrofotográficos. Aplicaciones directas de todo ello son el estudio de craqueladuras, integración de la firma, pinceladas, obtención de micromuestras e, incluso, poder observar si un pigmento es de naturaleza mineral o sintética (ultramar mineral frente a ultramar sintético, por ejemplo).

CONCLUSIÓN

A la vista de lo expuesto, resulta evidente que la ciencia puede y debe jugar un papel muy importante en el análisis y conservación de obras patrimoniales. Es indudable que hay grandes profesionales con la capacidad y experiencia suficientes para decidir si un cuadro puede ser de un artista en concreto. Pero también es exigible –y la sociedad está tomando conciencia de ello– la objetividad, seriedad, precisión e interdisciplinariedad con la que deben llevarse a cabo estos estudios. No son pocos los casos en que cuadros certificados y atribuidos a un determinado artista han sido analizados y se han identificado en ellos pigmentos patentados posteriormente a la muerte del supuesto pintor.

La ciencia aplicada al análisis y conservación del Arte ya es un hecho que no debe ser pasado por alto. Resulta paradójico que el término “tecnología” provenga del vocablo griego “TECHNE”, el cual simplemente significa “ARTE”.

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación está financiada por dos proyectos del gobierno español de referencias TIC 2002-03040 (CICYT) y TEC 2005-07239/TCM (CICYT).

BIBLIOGRAFÍA

- R.J.H. CLARK, *Chemical Society Reviews*. 1995; 24: 187.
- J. HILDEHAGEN y K. DICKMANN, *Les lasers dans la conservation des oeuvres d'art (Lacona IV)*. 2001; 1: 118.
- W. KAUTEK, S. PENTZIEH, J. KRÜGER y E. KÖNIG, *Restauratorenblätter (Lacona I)*. 1995; 1: 69.
- S. PAGÈS-CAMAGNA, S. COLINART y C. COUPRY, *Journal of Raman Spectroscopy*, 1999; 30: 340.
- S. RUIZ-MORENO, J.M. YÚFERA, M.J. MANZANEDA, M.J. SONEIRA, P. MORILLO y T. JAWHARI, *Mundo Electrónico*, 1996; 265: 30.
- S. RUIZ-MORENO, C. SANDALINAS, R. PÉREZ, A. GABALDÓN y M.J. SONEIRA, *Journal of Cultural Heritage*, 2003; 4: 309.
- S. RUIZ-MORENO, A. LÓPEZ-GIL, A. GABALDÓN y C. SANDALINAS, *Journal of Raman Spectroscopy*. 2004; 35: 640-645.
- A. ZERGIOTI, A. PETRAKIS, V. ZAFIROPOULOS, C. FOTAKIS, A. FOSTIRIDOU y M. DOULGERIDIS, *Restauratorenblätter (Lacona I)*. 1995; 1: 57.

FIGURAS

1. Antes y después de la limpieza óptica con láser UV pulsado de un icono griego del siglo XVII (Fotografía: Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones, UPC).
2. Laboratorio de espectroscopia Raman de la UPC (Autoría: Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones, UPC).
3. Análisis Raman-Láser de una obra de Theodor Gaspar Smitz (Autoría: Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones, UPC).