

## El làser i les obres d'art<sup>1</sup>

*El patrimoni cultural ha de ser analitzat, conservat, datat i catalogat. Però tot això només és possible portar-ho a terme, de forma seriosa i objectiva, si s'uneixen coneixements qualificats de diferents àmbits professionals*

**Dr. Sergio Ruiz-Moreno, Alejandro López-Gil Serra i Judith Miralles Roca.** *Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions, Universitat Politècnica de Catalunya.*  
[www.tsc.upc.edu/raman](http://www.tsc.upc.edu/raman)

### EL CONEIXEMENT DE L'ART

L'estudi de l'Art presenta una sèrie de necessitats que han de ser afrontades. Entre altres, destaquem la datació i autenticació de les obres, el coneixement precís dels materials utilitzats per l'artista i la conservació i/o restauració dels objectes artístics. És evident que, segons la tècnica artística emprada, s'afegiran moltes altres necessitats. En el cas d'obres pictòriques com, per exemple, en les anomenades pintures de cavallet, és important també la detecció de repintats, la interpretació sociohistòrica del moment en què es van executar, l'anàlisi estilística o evidenciar el possible dibuix subjacent. L'estudi d'una obra d'art requereix, per tant, d'una tasca interdisciplinària. En aquest sentit, les tecnologies fotòniques han demostrat, des de ja fa algunes dècades, una gran eficàcia en l'anàlisi i conservació del patrimoni cultural i la seva aplicació ha estat creixent ateses les excel·lents prestacions que ofereixen.

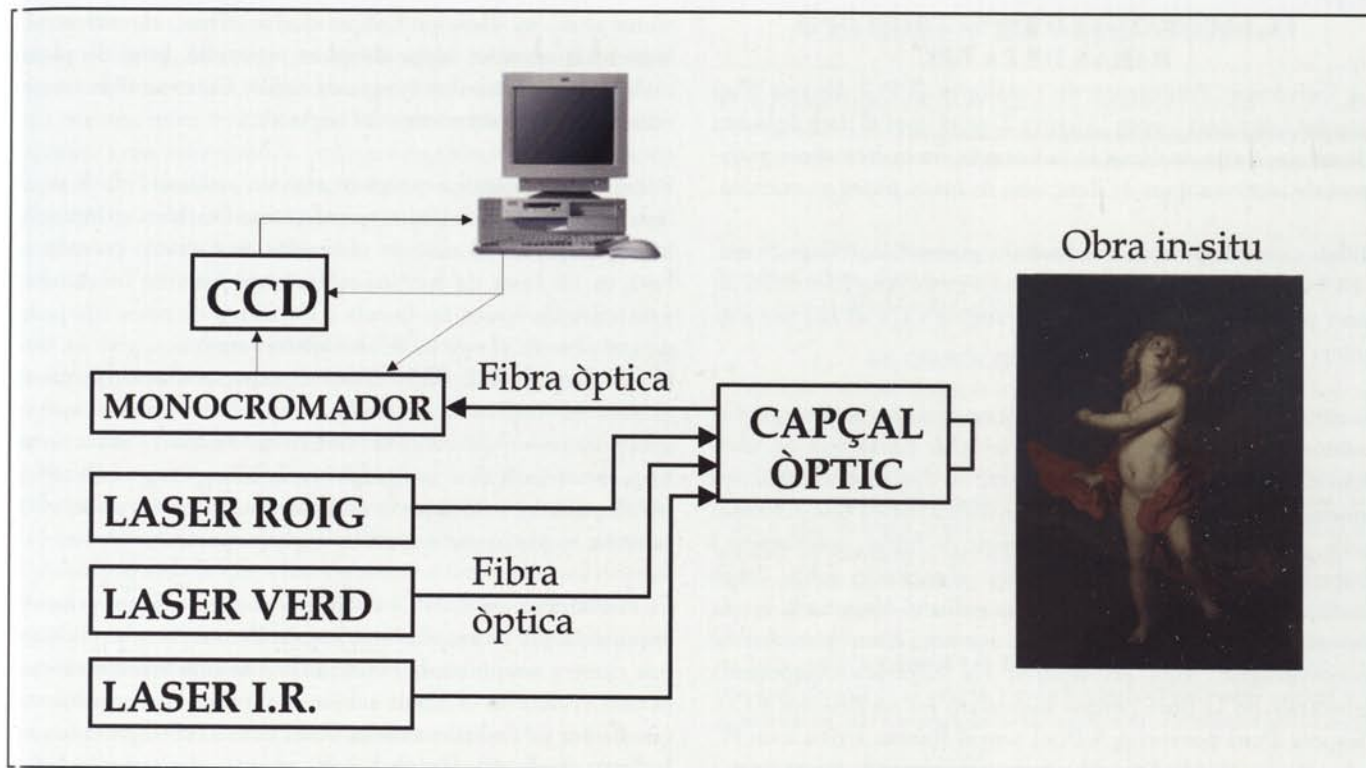
### LES TECNOLOGIES FOTÒNIQUES AL SERVEI DE L'ART

Aquest tipus de tecnologies solucionen eficaçment gran part de les necessitats descrites anteriorment. Es basen en la interacció entre la radiació òptica i la matèria. Segons quin sigui l'objectiu perseguit, podem parlar d'interacció amb fins analítics, la qual cosa aporta informació molecular, o d'interacció netejadora que aconsegueix l'eliminació controlada de substàncies espúries no desitjades (un cas habitual en la pintura a l'oli és el d'un vernís oxidat). Aquesta tasca de neteja s'aconsegueix utilitzant làsers polsats de radiació infraroja per a superfícies pètries i làsers polsats ultraviolats per a la neteja d'obres policromades. Ambdues tècniques es basen en el procés conegut com a fotoablació, és a dir, en l'eliminació controlada de capes no desitjades mitjançant la incidència de paquets temporals de fotons.

D'altra banda, l'anàlisi dels materials artístics es porta a terme mitjançant làsers d'ona contínua i, essencialment, consisteix en fer interactuar una llum monocromàtica amb un material del qual es vol determinar la composició molecular.



1. Abans i després de la neteja òptica amb làser UV polsat d'una icona grega del segle XVII  
(Fotografia: Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions, UPC).



2 Laboratori d'espectroscòpia Raman de la UPC  
(Autors: Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions, UPC).

Vegem a continuació, amb més detall, les característiques i prestacions d'ambdós processos fotònics (neteja i anàlisi).

## CONSERVACIÓ D'OBRES D'ART AMB LÀSER POLSAT

L'any 1973 John Asmus i un equip interdisciplinari de professionals van demostrar a Venècia que els polsos òptics d'un làser IR podien eliminar les capes de brutícia del patrimoni petri d'aquesta ciutat. Van aconseguir uns resultats més efectius i menys agressius que els obtinguts amb els mètodes convencionals d'abrasió i dissolvents. Dues dècades després Costas Fotakis, a l'illa de Creta, va ser pioner en l'eliminació de substàncies espúries adherides a les icones gregues i sense malmetre la seva policromia (vegeu la figura 1). En aquesta ocasió el làser polsat emprat va ser ultraviolat, el qual resulta idoni per eliminar vells vernissos i les seves adherències polimèriques. Havia nascut el que en termes saxons es denomina "laser cleaning", és a dir, neteja amb làser (polsat). En síntesi, si el làser polsat IR és adequat per a l'eliminació de superfícies pètries, el làser polsat UV ho és per a superfícies policromades. Aquests dos processos es fonamenten en els seus respectius efectes de fotoablació tèrmica i no tèrmica. Ja sigui amb un o amb l'altre, s'ha aconseguit també la neteja de vidrieres, mapes, pergamins, materials tèxtils, ivori, aquarel·les i olis. Tot això realitzat mitjançant un procés controlat i precís.

## ANÀLISI MOLECULAR NO DESTRUCTIVA: ESPECTROSCÒPIA RAMAN

Com ja hem comentat, un altre tipus de làsers, els d'ona contínua, ofereixen al món de l'Art una aplicació no menys important que

l'anterior. Es tracta de la possibilitat d'identificar molecularment els materials constitutius amb els que l'obra artística va ser executada (pigments, capes d'imprimació i de preparació, aglutinants i suports). Aquesta identificació espectral s'aconsegueix gràcies a l'efecte Raman, descobert abans de la invenció del làser i pel qual Chandrasekhara Venkata Raman (Trichinopoly, 1888 - Bangalore, 1970) va rebre el Premi Nobel de física l'any 1930. En poques paraules, aquest efecte es deu a la propietat que té la matèria d'emetre freqüències "pròpies", això és, característiques de les molècules que la integren, quan és il·luminada per una radiació monocromàtica (làser). No deixa de ser sorprenent que Raman demostrés l'efecte que porta el seu nom, tres dècades abans de l'aplicació del primer làser experimental!

Atès que tot pigment té una època d'utilització i, en molts casos, una data concreta d'aparició, es comprèn la importància que té disposar d'una àmplia base de dades amb els espectres Raman dels pigments utilitzats pels artistes al llarg de la història. Si analitzem amb espectroscòpia Raman una obra d'art podrem determinar la paleta de l'artista i arribar a saber no només la seva època i escola, sinó també aspectes relacionats amb la seva autenticitat (o falsedat) i estat de conservació. S'ha de destacar la no destructivitat d'aquesta tècnica làser a l'hora de realitzar una anàlisi, ja que això és essencial en la investigació, conservació i catalogació d'una obra d'art. D'altra banda, el tipus de làsers emprats en espectroscòpia Raman és compatible amb la tecnologia de fibra òptica, per la qual cosa confereix als equips gran manejabilitat, seguretat per a l'usuari i operativitat per treballar directament i a distància sobre l'objecte analitzat.

## EL LABORATORI D'ESPECTROSCÒPIA RAMAN DE LA UPC

La Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) disposa d'un avançat laboratori (vegeu la figura 2) en el qual al llarg dels deu últims anys s'ha analitzat la policromia de moltes obres patrimonials tant en suport de llenç com de fusta, paper o ceràmica.

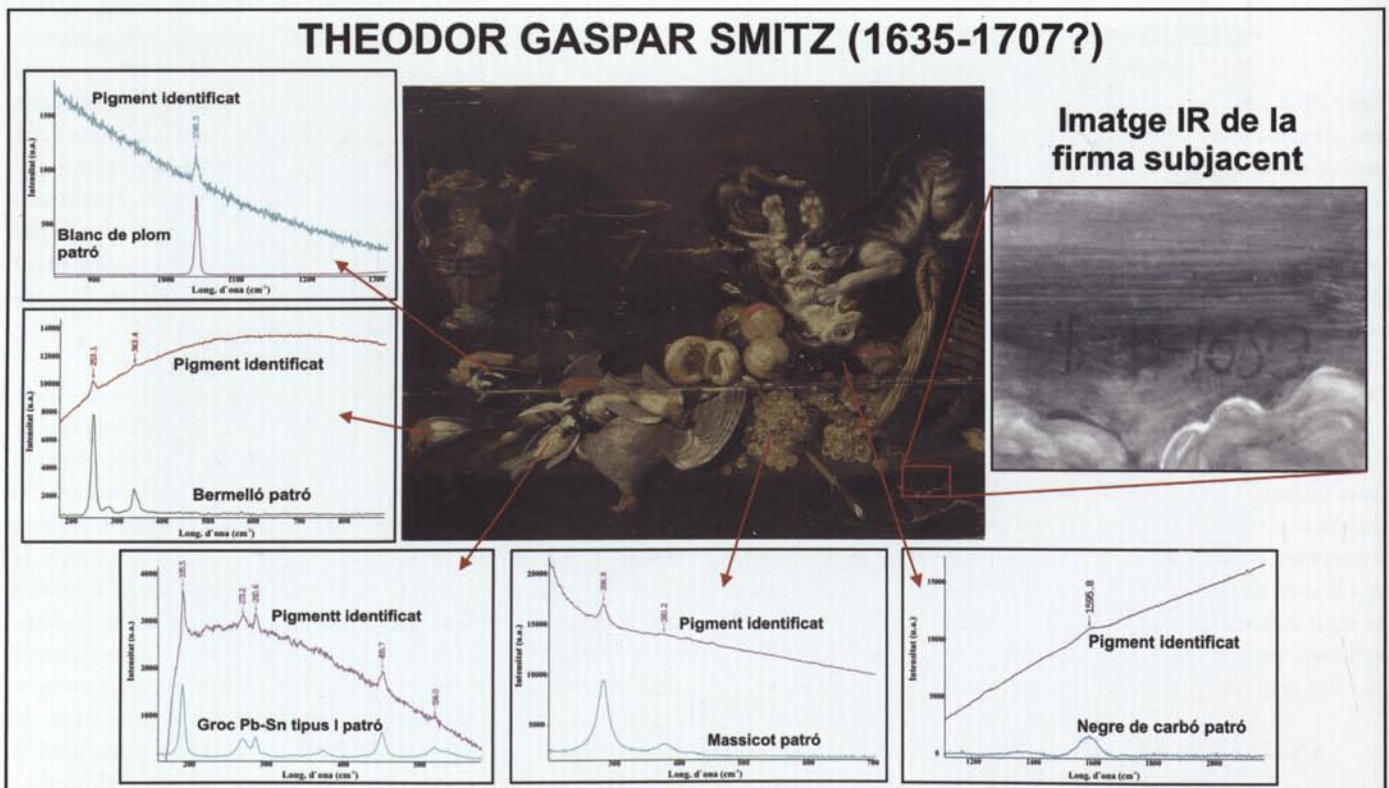
El laboratori disposa de tres làsers continus (IR, 785 nm; verd, 514.4 nm i vermell, 632.8 nm) per espectroscòpia Raman i d'un làser pulsat (seleccionable en un rang de l'UV al IR) per a la neteja de superfícies espúries.

L'anàlisi Raman es porta a terme mitjançant un sistema modular Induram (Jovin Ybon, grup Horiba) amb tecnologia de fibra òptica. El seu funcionament és així: la llum monocromàtica generada pel làser és guiada per una fibra òptica fins al capçal òptic, en el qual es realitzen funcions de filtrat, enfocament i detecció. Un objectiu enfoca el feix d'excitació sobre l'obra analitzada i a la vegada col·lecta la radiació dispersada per la matèria i la guia de nou mitjançant una altra fibra òptica fins al monocromador. Aquí se separen els diferents components espectrals de la llum perquè incideixin en un detector CCD. Després d'una conversió A/D, el senyal Raman arriba a un PC per a la seva visualització, emmagatzemament, tractament i interpretació. Cal assenyalar que es disposa d'una àmplia base de dades (espectres) de centenars de pigments patrons històrics per a la seva comparació amb els espectres obtinguts. Com a exemple experimental, a la figura 3 es presenta l'anàlisi Raman

d'una obra de Theodor Gaspar Smitz. S'han identificat els següents pigments: blanc de plom, vermelló, groc de plom-estany tipus I, massicot i negre de carbó. Es tracta d'uns materials usuals i característics del segle XVII.

Per a la neteja òptica comptem amb un sistema Polaris III de New Wave Research d'altres prestacions, flexible i extremadament compacte. El sistema generador de radiació pulsada es basa en un làser de Nd:YAG (1064 nm) que, en combinació amb cristalls òptics no lineals i els filtres dicròics adequats, permet obtenir el segon, tercer i quart harmònics, això és, longituds d'ona de 532, 355 i 266 nm, respectivament. D'aquesta manera es disposa de radiació làser pulsada en tres marges qualitativament diferenciats: infraroig, visible i ultraviolat. Així, la neteja òptica, ja sigui de superfícies pètries amb radiació IR pulsada, o de superfícies policromades amb radiació UV pulsada, es pot portar a terme mitjançant un únic sistema.

En el laboratori de la UPC existeixen dos altres equips no menys importants que es comenten tot seguit. Per una banda, utilitzem una càmera sensible a la radiació IR (Lambda Scientifica) que permet evidenciar el dibuix subjacent (i possibles penediments) que l'autor va realitzar amb carbonet com a esbós previ (vegeu la figura 3, detall). D'altra banda, un estereomicroscopi Leica MZ-12 amb lents intercanviables (quirúrgica i 1.6x) i uns oculars de 25x ens ofereixen fins a un augment màxim de 400x. Acoblada a aquest equip, una càmera CCD de Sony envia el senyal del MZ-12 fins a un monitor de TV. Per últim, connectat



3. Anàlisi Raman-Làser d'una obra de Theodor Gaspar Smitz (Autoria: Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions, UPC).



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

<sup>1</sup> 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](http://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.