

# **ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA LIMPIEZA LÁSER EN TEJIDOS ANTIGUOS: REVISIÓN Y RESULTADOS TRAS OCHO AÑOS DE SU APLICACIÓN**

**Cristina Escudero Remírez. Restauradora de Inorgánicos**  
**Adela Martínez Malo. Restauradora de Tejidos**  
**C.C.R.B.C. Junta de Castilla y León**

## **INTRODUCCIÓN**

### **Estado de la cuestión**

El uso del láser como herramienta de estudio y trabajo en las diversas áreas de la restauración y específicamente para la limpieza de obras de arte se remonta a más de 30 años, siendo numerosa la literatura científica existente en este campo.

El área más investigada es la utilización del láser para la restauración de soporte lítico, con resultados y publicaciones de gran difusión dentro del área de la conservación del patrimonio, sucesivamente se ha profundizado en la aplicación de la técnica láser sobre otros materiales como pintura, papel, pergamino, metales, etc, siendo el textil el material de más reciente incorporación como objeto de estudio, asistiendo en los últimos años a una diversificación del tipo de láser y longitudes de onda ha aplicar en todos los materiales(1).

En cuanto a los tejidos, uno de los primeros trabajos publicado fue el realizado por Max Polonovski y Brigitte Oger en 1994, que consistió en la limpieza mediante láser Nd:YAG (1064 nm) de un plano en relieve realizado en seda (finales del SXVII) de la colección de la Gran Galería del Louvre. Los resultados de la aplicación del láser fueron examinados al microscopio, no mostrando cambios significativos, iniciando así una línea de investigación en la futura aplicación de láser en la limpieza de objetos textiles Desde entonces hasta la actualidad son escasas las publicaciones relacionadas con la limpieza de tejidos mediante láser (2). La mayor parte de ellas centran su interés en la limpieza de los entorchados metálicos, concretamente los de plata para eliminar los estratos sulfurados de color negro (3).

En cuanto a tejidos propiamente dichos, las más interesantes son las difundidas en los congresos del LACONA, señalando específicamente la conferencia de Howard Sutcliffe, Matin Cooper y Janet Farnsworth, referente a la investigación de limpieza mediante láser de algodón nuevo y envejecido natural, en el que se realiza un interesante testado de limpieza con láser en diferentes longitudes de onda, sobre muestras de tejido de algodón nuevo manchado de forma artificial, comparando los resultados con limpiezas de tipo más “habitual”, instando a profundizar en el estudio de la aplicación de esta técnica y de sus efectos en la conservación de la obra.

### **Trabajos del CCRBC y planteamiento de los estudios**

En 1996 en el Centro de Conservación y Restauración de la Junta de Castilla y León se introdujo el uso del láser Nd:YAG (1064nm de longitud de onda) tanto en materiales orgánicos como inorgánicos algunos de cuyos resultados ya han sido publicados (4).

Los primeros ensayos experimentales en tejidos fueron realizados sobre telas de manufactura moderna, los resultados obtenidos nos animaron, en 1997, a realizar una aplicación de la limpieza láser en restos textiles de escasa entidad de época medieval,

con un envejecimiento y alteración reales, que nos permitía un estudio y análisis de los efectos de la radiación láser más fidedigna y fiable que en un muestreo preparado artificialmente(Figura 1).

Los resultados obtenidos fueron alentadores, iniciando una línea de trabajo interesante con objeto de profundizar en la aplicación y verificación del láser como herramienta versátil en el tratamiento de tejidos históricos.

Dicha investigación nos ha llevado a elaborar una hipótesis de trabajo sobre los fenómenos que concurren en la eliminación de partículas de suciedad, integradas en a la estructura fibrilar del tejido (Figura 2). Dicha eliminación puede ser el resultado de los efectos mecánicos inducidos por la energía láser, efecto “secundario” dentro de los procesos de limpieza que se han venido estudiando sobre los materiales inorgánicos.

La generación de ondas acústicas y ultrasonidos, propician el desprendimiento de las partículas, en el caso que nos ocupa materia procedente del proceso de enterramiento, en forma de polvo, así como cualquier otra sustancia adherida, independientemente de la naturaleza orgánica o inorgánica de la misma.

Por tanto el sistema no es eficaz en las coloraciones que son consecuencia de una alteración química del soporte, puesto que estas implicar cambios en la estructura molecular que se manifiestan en forma de mancha.

Según nuestros trabajos, fenómenos fototérmicos serían los “secundarios” en este proceso, pero importantes a la hora de evaluar los efectos sobre las fibras, ya que, dada su naturaleza orgánica, no pueden descartarse procesos de alteración introducidos durante la limpieza láser, susceptibles de evolucionar negativamente en el tiempo.

La energía láser, energía infrarroja en este caso, tiene una importante capacidad lumínica y térmica, y por lo tanto se deben evaluar los posibles procesos de termo-oxidación y fotodeterioro

Una de las cuestiones que suscita mayor inquietud entre los profesionales de la restauración son los efectos negativos que pueden evolucionar en el tiempo y por lo tanto no detectables inmediatamente después de la limpieza con láser, por lo cual, tras una intervención sería ser conveniente realizar sucesivas inspecciones para constatar la eficacia del tratamiento y las consecuencias conservativas del mismo con respecto a la obra.

Por todo ello se ha considerado fundamental proceder a la revisión de los tejidos que hace ocho años fueron testados con láser, mediante una analítica más exhaustiva, y así profundizar en el estudio de la evolución del tratamiento experimental y valorar sus posibles aplicaciones en el área de conservación de tejidos.

## **METODOLOGÍA**

### **Tipología de las Muestras:**

Las muestras seleccionadas en 1997 para este trabajo experimental, se escogieron en base a su naturaleza, con objeto de establecer posibles diferencias entre soportes proteínicos y celulósicos.

En cuanto a los proteínicos, se optó por dos fragmentos pertenecientes al Panteón Real de San Isidoro de León que se datan entre los siglos XI-XIII, un fragmento de lana y otro de seda, ambos tejidos con el deterioro propio de un contexto funerario.

El tejido de naturaleza celulósica fue un lino, empleado como re-entelado de un plano, ejemplo interesante al tratarse de un material textil que presenta degradación natural y depósitos abundantes de suciedad y restos del adhesivo a la gacha.

## **Características del láser:**

El láser utilizado en la limpieza de las muestras textiles fue el láser Nd: YAG, longitud de onda 1064 nm, frecuencia 20Hz, duración del pulso 6ns, máxima densidad de energía = 420 mJ. Las pruebas se realizaron usando el haz de energía tanto convergente como colimado.

El haz convergente se obtiene con la inclusión de una lente en la pieza de mano, en este caso la energía aplicada depende del diámetro y la distancia de aplicación, empleando fluencias entre 276 mJ cm<sup>-2</sup> y 466 mJ cm<sup>-2</sup>.

En el caso del haz colimado la energía es independiente de la distancia, con un spot de 6mm, trabajando con fluencias que van de 19 a 369 mJ cm<sup>-2</sup>.

No se repiten pulsos en una misma área, pues en los testados previos sobre materiales nuevos, hemos constatado que un solo pulso a mayor densidad de energía, es más eficaz que la acumulación de pulsos a baja densidad

## **Métodos instrumentales de laboratorio:**

1997: las técnicas analíticas se centraron en estudio de la estructura de las fibras mediante Microscopio de Electrónico de Barrido (SEM JEOL JSM-840) a 1000x y 100x y microscopio óptico a 40x antes y después de la limpieza láser.

2005: los mismos fragmentos se han sometido a diversas pruebas analíticas después de ocho años, ampliando el estudio a otros análisis específicos que pudieran aportar una mayor información del estado de las fibras:

Caracterización de las fibras mediante microscopio en las secciones longitudinales y transversales 20x, 50x (Microscopio óptico Olympus BX 41), espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) (Perkin Elmer-1600) y microscopía electrónica de barrido 600x y 2400x (Philips- FEI.QUANTA 200)

### Determinación de la viscosidad intrínseca:

*Seda:* Viscosímetro capilar Cannon-Fenske, ref. K001, modelo 52001 Schott

Procedimiento, según norma suiza SNV 95595-1963:

- Preparación de las muestras: Lavado por inmersión en 50ml de disolución diluida de jabón neutro (1g/l) a 30°C hasta la total eliminación de partículas de suciedad y enjuague final con agua destilada y secado a 23°C y 50% de HR durante 48h.
- Disolución de las muestras de seda en disolución concentrada (9 mol/l) bromuro de litio purísimo, en matraces cerrados, dejándolos 2 horas en estufa a 60°C, una vez preparadas las disoluciones finales se miden los tiempos de efusión, registrando para cada muestra líquida un mínimo de cinco lecturas. La temperatura del tiempo de efusión es de 25°C.

*Lino:* Viscosímetro Cannon-Fenske (K002, tipo 52013/150), sobre soporte AVS/S-CF con medida automática del tiempo de efusión mediante equipo y programa Schott AVS350.

- Preparación de las muestras: Con objeto de eliminar el almidón de la gacha se efectúa el lavado intenso con 1g/l de un detergente con enzimas (amilosas) en un baño a 60°C, con enjuague final de agua destilada. Comprobación de la ausencia de almidón mediante ensayo con reactivo yoduro/yodato en medio ligeramente ácido.
- Disolución del tejido con el reactivo de cobre-etilendiamina.

## RESULTADOS

Las pruebas de limpieza láser realizadas son, a simple vista, sumamente satisfactorias; en el caso del tejido de seda, se consigue eliminar gran cantidad de suciedad, según nuestros cálculos más del 87 % de las partículas adheridas, recuperando significativamente las características propias de brillo y flexibilidad de este tipo de fibras.

Destacar el caso del fragmento de lana, que previamente se había sometido a una limpieza acuosa en mesa de succión, reduciendo el tiempo de intervención por la fragilidad de las fibras, obteniendo unos resultados bastante limitados. Tras este tratamiento, se realizaron catas mediante láser, constatando que se mejoraban sustancialmente los resultados, logrando eliminar restos compactos de óxidos de cobre adheridos al tejido, efecto que no se había producido en el proceso anterior.

El estudio SEM, ha permitido realizar una comparación entre las fibras de lino, seda y lana, con y sin tratamiento láser, confrontando, a su vez, los resultados entre 1997 y 2005. La ampliación de la analítica permite relacionar con mayor profundidad, el estado de las limpias y aquellas que han permanecido sin limpiar.

Los estudios de la estructura de la fibra, realizados en 1997 (Figura 2), antes y después del tratamiento no revelan cambios morfológicos significativos. La repetición de los análisis en el 2005 sobre la estructura de las mismas fibras, siguen sin revelar cambios significativos. (Figura 3)

Los espectros obtenidos mediante FTIR muestran resultados interesantes, ya que en el material celulósico (lino), no se observan cambios destacables, mientras que en el material proteínico se aprecia una tendencia a cambios en la intensidad de la banda de tensión de enlaces  $\text{CH}_2$  (Figura 5)

Los ensayos de viscosimetría no detectan una disminución de la viscosidad intrínseca de las muestras de seda tratadas por láser, respecto a las no tratadas, disminución que si se evidencia para las muestra de lino tratado (valor de DPv para lino sin tratar 468,6. Valor pare el lino sometido a limpieza láser 390,5). (Figura 6)

## CONCLUSIONES

Este estudio pretende profundizar en el conocimiento de los efectos de la irradiación láser sobre materiales de naturaleza orgánica como son las fibras textiles.

La aplicación de nuevas técnicas sobre los materiales que componen los bienes culturales debe efectuarse de manera rigurosa, con objeto de minimizar los riesgos que pueden inducirse en el tratamiento.

Es revelador contrastar los resultados obtenidos en la aplicación láser sobre muestras de factura reciente- que se establecen como marco de referencia orientativo - con muestras de tejido antiguo que engloban la verdadera incidencia del láser, siempre que estas sean de escasa entidad

Estos resultados preliminares, establecen pequeños cambios que nos sirven para el diseño de las futuras investigaciones, con objeto de determinar si estas mínimas modificaciones son debidas a la herramienta o a la casuística del propio material objeto de estudio, puesto que no se puede obviar que todos los análisis se efectúan sobre mínimas secciones de hilo y que los tejidos antiguos presentan una degradación heterogénea.

Por tanto estos resultados nos alientan a una investigación más profunda ampliando en la cantidad de muestras con el objetivo de establecer la causa de los cambios

mencionados, intentando definir a que responden, lo cual permitiría proponer modificaciones en los parámetros láser.

Así mismo, es fundamental realizar estudios comparativos de las distintas técnicas de limpieza, como los existentes en la disciplina de restauración de piedra, puesto que en restauración cuando se interviene sobre la obra a preservar, todo tratamiento tiene unos efectos que deben ser valorados en función al problema a resolver.

El láser ejerce una acción evidente de limpieza en los tejidos que debe ser investigada con mayor profundidad para su uso como una herramienta en los tratamientos de obras textiles o como complemento a otras intervenciones.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos la colaboración del laboratorio del CCRBC de la Junta de Castilla y León, así como el interés mostrado por los laboratorios que han participado en la analítica de apoyo de este trabajo, Universidad de Valladolid, Centro de Estudios de Bienes Culturales ARTELAB y la ETSII de la Politécnica de Cataluña.

## **NOTAS**

- (1) Referencias bibliográficas generales
- (2) Referencias bibliográficas referido al láser y tejidos
- (3) Referencias bibliográficas específicas del láser e hilos entorchados
- (4) Selección de las publicaciones relacionadas con el láser y su aplicación en obras de arte.

## **BIBLIOGRAFIA**

General:

COOPER, M., *Laser cleaning in conservation and introduction*, Londres, 1988, Butterworth-Heinemann

LACONA I: *Proceedings of the first international conference on Laser in the conservation of Artworks*, Crete, 1995.

LACONA II *The 2<sup>nd</sup> International Conference on Lasers in the Conservation of Artworks*, Liverpool, 1997

LACONA III *The 3<sup>th</sup> International Conferenece. on Lasers in the Conservation of Artworks*, Florencia, 1999

LACONA IV *The 4<sup>th</sup> International Conferenece. on Lasers in the Conservation of Artworks*, Paris, 2001

LACONA V *The 5<sup>th</sup> International Conferenece. on Lasers in the Conservation of Artworks*, Osnabrueck, 2003

FOTAKIS, C.et al. "Lasers in art conservation", *The Interface between Science and Conservation*, London, 1997

Textiles:

BRUNETTO, A., LUCCHINI,G., ET RAVA A., "Un caso conservativo di una tela contemporanea con il LASER. Il restauro dell'opera di Marco Gastini" Florencia 2004 *Rev. Progetto restauro* n°29. Ed. Il prato pag. 4-11

VVAA "La veste funebre di sigismondo Pandolfo Malatesta nel tempio Malatesiano di Rimini. Il LASER nel restauro dei tessili" *Rev. Kermes*, Florencia 2002, Dossier n° 42 p. 29-49

PACAUD G. AND J. LEMAIRE. "Le nettoyage au laser ; D'un jaunissement observable sur des plumes blanches ayant subi un traitement par laser YAG de de sincrustation." *La Lettre de l'OCIM* 67, París, 2000, p.21-32

SUTCLIFFE, H., COOPER M., FARNSWORTH, J., "An initial investigation into the cleaning of new and naturally aged cotton textiles using laser radiation" *The 3<sup>th</sup> International Conferenece on Lasers in the Conservation of Artworks*, Florencia , 1999, p.S241-247

POLONOVKI, M. OGER B., "L'utilisation de la soie dans les plans-reliefs: faisabilité du nettoysage au laser." *La conservation Des Textiles Anciens* , Journées d'Études de la SFICC, Angers ,1994 p. 20-22 Octobre 1994

#### Entorchados:

DEGRIGNY,C., et al. "Laser cleaning of tarnished silver and copper threads in museum textiles" *The 4<sup>th</sup> International Conferenece on Lasers in the Conservation of Artworks*, Paris, 2001 p.89-92

LEE, J.M., YU J.E., KOH, Y.S., "Effect of wavelenght in the laser conservation of silver textile" *The 4<sup>th</sup> International Conferenece on Lasers in the Conservation of Artworks*, Paris, 2001 p.93-98

CAMPOS M., HERMITTE L."Détermination des conditions de restauration par faisceau laser de filés métalliques insérés dans les matériaux textiles". *International Report, Arc Antique*, Nantes, 2000

KOLAR, J., et al. Surface modification during Nd:YAG (1064 nm) pulsed laser cleaning of organic fibrous materials. *The 5<sup>th</sup> International Conferenece on Lasers in the Conservation of Artworks*, Osnabrueck, 2003.p.55-58

#### Selección de publicaciones del CCRBC:

BARRERA, M., ESCUDERO C., PEREZ DE ANDRÉS C., "Estudio de los efectos de la limpieza con láser de NdYAG sobre patina cromáticas en piedra" *Congreso: Restaurar la Memoria ARPA 2002*, Valladolid, 2002

ESCUDERO, C, BARRERA DEL BARRIO M, PEREZ DE ANDRÉS C, "Estudio y preservación de pátinas cromáticas en monumentos. El láser como instrumento de limpieza " *V internacional Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*, Sevilla, 2002

ESCUDERO, C., "Aplicaciones de la limpieza láser sobre material silíceos. El color" *GEICC*, Madrid, 2000

ESCUDERO, C., "Aplicaciones de la limpieza láser en el CCRBC" *Congreso Restaurar la Memoria ARPA 1998* Valladolid.1998, p.233-243

GOMEZ, C., "La utilización del láser NdYAG en la limpieza de capas de policromía" *Actas del I Congreso del GEICC Conservación del patrimonio: evolución y nuevas perspectivas*, Valencia, 2002