

Principios de conservación en una tecnología de restauración innovadora en el Patrimonio Arqueológico. Aplicación en el Proyecto ARQUEOLÁSER

Joaquín Barrio Martín

Resumen: La finalidad de este trabajo es poner de relieve lo que las nuevas tecnologías que nos están llegando al sector de los bienes patrimoniales, pueden aportar soluciones a problemas de restauración que los procedimientos tradicionales no habían conseguido resolver o bien que el resultado obtenido no era el más adecuado para una adecuada conservación de las piezas arqueológicas. Pero en modo alguno, la implantación de estos métodos innovadores debe hacerse de manera aislada, sino en estrecha colaboración y complementación con las técnicas tradicionales; no deben ser nunca considerados un sustituto sino un apoyo importante, a veces imprescindible, en la tarea común de conservar nuestro Patrimonio Arqueológico más vulnerable.

En este contexto, es cada día más patente que *el láser* es una aplicación innovadora relevante en los materiales arqueológicos que necesitan ser restaurados, especialmente cuando éstos presentan procesos de alteración y paquetes de corrosión muy resistentes, que los procedimientos tradicionales no consiguen solventar con total garantía. Este es el caso especialmente de muchas piezas metálicas.

Por esta razón, *el láser* aplicado en la restauración de estos elementos presenta unas expectativas excelentes, pero que deben de sustanciarse en el corto plazo profundizando en la investigación con ayuda de la Arqueometría, pero también en la definición de un Protocolo de Trabajo que se adscriba a principios de la conservación en estos comienzos del siglo XXI.

Palabras clave: Patrimonio, Arqueología, Principios, Conservación, Restauración, Tecnologías de Innovación, Láser.

Princípios de conservação numa tecnologia de restauro inovadora no património arqueológico. Aplicação do projecto ARQUEOLASER

Resumo: O objectivo deste trabalho é realçar como as novas tecnologias que estão a chegar ao sector dos bens patrimoniais podem trazer soluções a problemas de restauro que os procedimentos tradicionais não conseguiram resolver ou que o resultado obtido não foi o mais adequado para uma correcta conservação de peças arqueológicas. No entanto, de modo algum, a implementação destes métodos inovadores deve fazer-se de forma isolada mas sim, em estreita colaboração e complementariedade com as técnicas tradicionais; nunca devem ser considerados como substitutos e sim, como um apoio importante e, às vezes imprescindível, na tarefa comum de conservar o nosso património arqueológico mais vulnerável.

Neste contexto, é, cada dia mais patente que o laser é uma aplicação inovadora relevante para os materiais arqueológicos que necessitam ser restaurados, sobretudo quando estes apresentam processos de alteração e áreas de corrosão muito resistentes, que os procedimentos tradicionais não conseguem resolver com total garantia. Este é, especialmente, o caso de muitas peças metálicas.

Por esta razão, o laser aplicado para restauro destes elementos apresenta umas expectativas excelentes, mas que se devem consubstanciar a curto prazo, aprofundando a investigação com a ajuda da Arqueometria mas também, com a definição de um protocolo de trabalho adstrito a princípios de conservação, neste início do século XXI.

Palavras-chave: Património arqueológico; princípios; conservação; restauro; tecnologias de inovação; laser.

Conservation principles in an innovative restoration technique of archaeological heritage. ARQUEOLASER Project

Abstract: The aim of this study is to emphasize how new technologies with recent application on cultural heritage are providing solutions to unsolved conservation problems, untreatable with traditional procedures. However, these techniques should never be used isolated, but in narrow collaboration with traditional systems; they shouldn't be considered a substitute, but an important support, sometimes even indispensable, in the purpose of conserving our vulnerable archaeological heritage. In this context it becomes very clear that laser has a relevant application in the restoration of archaeological materials, especially when they

Show an advanced alteration and resistant corrosion layers. This is the case of many archaeological metals. For this reason, conservation treatments based on laser reveal excellent expectations that should be substantiate with profound research, helped with Archaeometry and the definition of working protocols ascribed to conservation principles, at the beginning of the 21st Century.

Keywords: Heritage, Archaeology, Principles, Conservation, Restoration, Innovation technologies, Laser.

Introducción

Después de una experiencia de trabajo de varios años investigando la aplicación de estas técnicas LASER en bienes arqueológicos, es mi intención hacer ahora una valoración concluyente de algunos aspectos recogidos en dos proyectos i+D (*METALÁSER* hasta julio 2012 y el actual *ARQUEOLÁSER*)¹, que tienen más que ver con los procedimientos y la filosofía de trabajo; quizás pueda recogerse bajo el paraguas de lo que debemos denominar *Ética del Patrimonio*, en consonancia con lo que se hace en otras ciencias como la Biología o la Medicina. Quiero indicar, por tanto, que la intervención directa sobre un bien de P. Arqueológico debe estar rigurosamente justificada por un diagnóstico, y orientada a la recuperación y la conservación del objeto, además de responder a los principios y protocolos de acción determinados, emanados de las normas internacionales referidas a la deontología de la conservación y restauración en estos primeros decenios del siglo XXI. El significado histórico y valor documental de cada pieza arqueológica obligan a ello. Una vez decidida la necesidad de intervenir es preciso alcanzar una solución óptima utilizando algunos criterios generales que garanticen "a priori" la fiabilidad, seguridad y durabilidad de los procedimientos de la restauración. No en vano ICOM (2006) como primera institución mundial en la conservación y cuidado de los bienes culturales dejó manifiesto hace unos años en su Código Deontológico, directriz 3.5, al hablar de las investigaciones que se llevan a cabo en estos objetos, que "...deben ser conformes a las prácticas jurídicas, éticas y académicas establecidas...".

Ante todo, es necesario efectuar una elección razonada, tras un cuidadoso análisis comparativo de diferentes hipótesis y pruebas reales, en función de la solución que se pretende llevar a cabo ejecutando la intervención sobre el objeto arqueológico. Esta solución debería ser preferentemente integral para que la intervención sea lo más general y, en cierto modo, lo más repetitiva posible y por tanto, lo más controlable posible en sus efectos en el futuro. Para ello conviene haber definido con claridad un Protocolo de Trabajo, a semejanza de lo que se sigue en otros ámbitos como la Cirugía Clínica, con la que tanta similitud tiene la Restauración, obviando indudablemente las diferencias en el *sujeto*.

Para que mi presentación y análisis de estos problemas no resulten etéreos, y sabedor de que la restauración es por antonomasia una ciencia *matérica*, añadiré un caso particular donde ver reflejado el trabajo con esta tecnología láser y la adscripción a los principios de la conservación.

Nuevas tecnologías para la conservación y restauración y principios deontológicos en el siglo XXI

Para abordar este análisis es preciso considerar la conexión entre Restauración y Arqueología, puesto que estamos entrando de lleno en un ámbito de competencias compartidas; no se puede olvidar que los objetos a intervenir son recuperados y estudiados por esta ciencia histórica. El interés que desde el campo de la Arqueología se ha tenido en participar e influir en los foros donde se han definido los principios de la restauración moderna siempre ha sido importante. Hay que referirse en estos precedentes, sin duda, a la participación de personalidades de envergadura como el arquitecto, arqueólogo y restaurador L. Torres Balbás en las discusiones que dieron lugar a documentos deontológicos como la Carta de Atenas en 1931, la primera de estas normas que conducirán la actividad de la restauración y conservación desde el primer tercio del siglo XX hasta el siglo XXI, inaugurado con la Carta de Cracovia en el 2000. Se inscribe lógicamente en esa clara implicación de los dos ámbitos para conseguir un objetivo común: lograr que los bienes del Patrimonio Arqueológico puedan ser legados a las futuras generaciones en las mejores condiciones de conservación posibles. Y ejercer esta responsabilidad ateniéndose a unos ineludibles valores éticos, además de seguir con precisión los principios científicos de la técnica láser en su aplicación a bienes arqueológicos y artísticos (Siano 2007).

Desde este marco de intereses patrimoniales compartidos por arqueólogos, conservadores y restauradores, conviene evaluar los principios profesionales que deben guiar las restauraciones sobre bienes arqueológicos (metales en especial) con esta tecnología láser, innovadora en nuestro campo. A pesar de que las Cartas y Documentos deontológicos de Restauración apenas hacen alguna consideración concreta sobre la intervención en metales arqueológicos, de su lectura detenida se pueden entresacar algunos principios generales que han guiado la actuación en mi trabajo; hoy en el Proyecto ARQUEOLÁSER.

En este sentido, una anotación de contenido demasiado general referida a la restauración de los metales arqueológicos es la que se recoge tanto en la Carta del Restauo de Roma de 1972 como en la Carta de Restauo de 1987 (Anexo A dedicado a *la salvaguardia y restauración de Antigüedades*) en estos términos:

“...Se impone una delicadeza especial al recoger objetos o fragmentos de metal, sobre todo si están oxidados, recurriendo, además a sistemas de consolidación, también a soportes adecuados cuando sea necesario...”.

Este es, pues, el único texto que hace alguna alusión concreta y general a los metales arqueológicos, sin entrar en los procedimientos de restauración tradicionales o innovadores.

La utilización de una nueva tecnología como el láser en un campo tan delicado como el de la conservación y restauración de los metales de procedencia arqueológica, en el que aún no se cuenta con una experiencia internacional y nacional consolidada, también debe tener el sustento de los principios deontológicos más actuales.

Al surgir como tal investigación aplicada y hacerlo en los últimos años, se ha regido en su desarrollo por hacer un uso constante del apoyo de las ciencias analíticas y experimentales. Este es un criterio que ya fue apuntado en la Carta de Atenas de 1931 y recogido más explícitamente en la Carta de Venecia de 1964 al promover la solicitud de "...el apoyo de las ciencias y las técnicas para colaborar y cumplir perfectamente con el cometido final de la conservación..." (Artº2). Un criterio de actuación que con el paso del tiempo se ha hecho más evidente, conduciendo la tarea de conservación y restauración hacia una actividad *multidisciplinar*, que debe ir más allá del habitual análisis *antes de...* de los productos de alteración y causas de deterioro, y llevar a evaluar *después de...* con las técnicas más adecuadas a cada caso los resultados logrados con cualquier técnica innovadora; y el láser no puede quedar al margen de esta premisa. A este mismo respecto, en la Carta de Cracovia del 2000 (Ptº 10) se dice:

"...Las técnicas de conservación o protección deben estar estrictamente vinculadas a la investigación pluridisciplinar científica sobre materiales y tecnologías usadas... Cualquier material y tecnología nuevos deben ser probados rigurosamente, comparados y adecuados a la necesidad real de la conservación..."

Este principio de *validación de un nuevo proceso* con técnicas científicas es a todas luces uno de los criterios principales que afectan a las nuevas tecnologías. El tiempo, como tantas veces, dará rúbrica o no a esta técnica.

Más recientemente, al definir ICOM-CC la terminología actual de la conservación-restauración, hace hincapié en los considerandos del preámbulo con estas palabras: "... any measures and actions taken result from an inclusive interdisciplinary decision-making process..." (ICOM-CC, 2008).

Como se pone de manifiesto en ese párrafo de la última Carta de Restauración, hoy está perfectamente justificado el uso de tecnologías de vanguardia como el láser, siempre que se acompañen de estudios científicos que vayan convalidando la aplicabilidad de la técnica y su aportación positiva a las tareas de la conservación en la resolución de los problemas junto métodos tradicionales bien conocidos y experimentados en el tiempo.

En la restauración de materiales arqueológicos metálicos, un criterio aceptado en la deontología internacional, quizás el de mayor transcendencia, es el referido a la *recuperación de la superficie original y el mantenimiento de su pátina*. Desde hace algunos años, un buen número de investigadores y restauradores, entre los que me encuentro, hemos hecho un hincapié preferente de este criterio en nuestros trabajos. Pero sin duda, ha sido el Profesor R. Bertholon, quien ha focalizado muy especialmente este problema conceptual, pero también objetivo y material, y ha entrado con detalle en su análisis (2000: 99-140).

Así pues, la intervención restauradora de estos objetos, generalmente muy afectados por un grave deterioro (nos acogemos a la denominación de las cuatro zonas de corrosión propuesta por Chitty et al. 2005), debe conllevar la eliminación de las tierras del propio contenedor del suelo (Soil, [S]) y de la mezcla de óxidos y tierras que forman el estrato más externo de los productos de alteración (Transformed Medium, [TM]). Y ha de dejar a la vista la capa más densa (Dense Product Layer, [DPL]), que integran mayoritariamente una mezcla de óxidos, hidróxidos y carbonatos (ghoetita, magnetita y maghemita en el caso de los hierros; tenorita, cuprita y malaquita en el de los cobres/bronces), suficientemente densos para evitar la difusión de oxígeno (estabilidad frente a la corrosión). En esta capa es donde es posible que encontremos todo lo que se conserva de la forma

original del objeto, y por ende, su pátina. En la intervención no debemos llegar y dejar a la vista el núcleo metálico interno (Metal, [M]). Es verdad que a grandes rasgos la forma se mantiene en estos objetos, pero sabiendo que la corrosión y la mineralización añadida suelen llevar aparejado un aumento ligero en dimensiones o una pérdida de materia, según los casos, en la estructura metálica que compone la pieza.

Consecuentemente en el trabajo con el láser ha de primar en todo momento el *respeto de la autenticidad* de las piezas metálicas. Viene ya recogido en la introducción a la Carta de Venecia de 1964, y se hacen referencias a su importancia en el resto de los documentos normativos. Sin embargo, es en la última Carta, la de Cracovia (Ptº 6) donde se confiere a este principio una importancia destacable, estando incluido en el apartado de Definiciones. A partir de su lectura, esta autenticidad cabría definirla “como la cualificación sustancial de la obra derivada de la suma de las características intrínsecas y propias de dicho Bien Cultural, tanto materiales como inmateriales, que han sido determinadas como resultado de las transformaciones ocurridas en el tiempo”. Por tanto, la autenticidad debe reconocerse tanto del contenido material como del inmaterial de la pieza (en la materia física constituyente y en el contenido histórico representado). Este rasgo que protege el principio mencionado parece imprescindible en los bienes del Patrimonio Arqueológico, quizás porque la autenticidad es la referencia más obligada y necesaria para los elementos pertenecientes a las denominadas culturas antiguas.

Así, el *respeto a esta identidad auténtica* es uno de los principios fundamentales en las actuaciones englobadas en el proceso de conservación/restauración, y sobre todo, con las nuevas herramientas tecnológicas. Esta actitud es hoy preferente a la hora de intervenir, aún siendo consciente que toda intervención sobre metales arqueológicos, dado su deficiente estado de conservación, lleva aparejada una cierta dosis de pérdida o modificación de esa autenticidad. Personalmente creo que es el láser la técnica que mejor puede preservar estas condiciones de autenticidad en muchos de estos objetos, pues permite un control exhaustivo de cada momento de la limpieza al avanzar unas pocas micras en cada pulso.

También, parece lógico que se debía de plantear el criterio general de *mínima intervención* que prima en la conservación moderna. Así pues, el proceso de restauración debe ser el mínimo exigible, con el objetivo primordial de la estabilización de las piezas metálicas y la garantía de permanencia de éstas en el futuro. Quizás siga siendo muy útil la premisa conocida de hace años *restauración en función de la conservación*, siempre privilegiando los aspectos preventivos antes que curativos, y ya expresada en su momento con claridad en las teorías brandianas (Brandi 1988: 55-61). Así mismo, la última Carta de Cracovia cuando se refiere a este criterio general lo hace con expresa mención en los términos siguientes: “...los trabajos de conservación de hallazgos arqueológicos deben basarse en el principio de mínima intervención...” (Ptº 5).

En consecuencia con este principio, la aplicación del láser en un tratamiento se ha de abandonar cuando se consiguen los objetivos de recuperar la materia física original, intacta o transformada en pátina, y así mismo las cualidades estéticas o históricas de las piezas arqueológicas.

Sin embargo, este principio debe de acomodarse al de *recuperación de la legibilidad*, esto es, la recuperación de la entidad de las piezas no sólo mediante el descubrimiento de sus superficies originales que hayan podido quedar de los distintos metales tratados, sino haciendo uso de las necesarias tareas de integración y reintegración, imprescindibles en la mayoría de los bienes de naturaleza arqueológica.

En la tarea de recuperar una lectura correcta de la superficie de la pieza, la herramienta láser resulta muy apropiada para lograr este propósito, especialmente en hierros, aleaciones de base plomo o base cobre, bronce..., retirando los productos deformantes sin riesgos de fisuras o rayados. Las superficies que han permanecido en ubicación original logran mantenerse en ella sin dificultades. En el caso de objetos como los cobres dorados, su legibilidad sólo es posible si se efectúa una retirada completa de los productos de deterioro que se han acumulado en la superficie y que ocultan el oro; sin embargo, cuando peligra la pérdida de esta capa por la extrema resistencia de los productos cubrientes, se ha optado por mantener éstos a sabiendas que la definida legibilidad queda reducida parcialmente.

La *unidad metodológica* es un principio cuya importancia se ha destacado en los últimos años, por hacer referencia a los últimos documentos deontológicos. Y viene a indicar que todo el proceso debe discurrir con una metodología estricta y un control adecuado de toda la intervención. Puede parecer innecesario apuntarlo en la medicina, la bioquímica o la ingeniería. Pero a mi modo de ver no es baladí seguir insistiendo en las ciencias patrimoniales.

El desarrollo de los procedimientos que exige la intervención con técnicas láser en el P. Arqueológico debe estar previamente definido en la propuesta de trabajo. Esta ha sido nuestra intención al desarrollar un Protocolo de Trabajo para el Proyecto ARQUEOLÁSER. La conservación científica ha dispuesto un modelo metodológico que va mejorando conforme se desarrollan los avances técnicos y se tienen mejores experiencias en los resultados de intervención en obra. Indudablemente, para ejecutar esta metodología con acierto, se debe contar con profesionales cualificados como restauradores de Patrimonio Arqueológico formados en el manejo de esta técnica innovadora.

También deben ajustarse estos nuevos procedimientos de restauración láser a un criterio de baja *invasividad* sobre las superficies de los metales en las que actúa para su limpieza y siempre que en la fase de prueba no se hayan detectado efectos nocivos sobre el objeto. Como la aplicación del láser se caracteriza especialmente por la ausencia de contacto físico con la materia del objeto sobre el que se interviene, no tiene ocasión el impacto de las presiones o vibraciones de los procedimientos físicos que se generan con los métodos mecánicos o manuales. Esta baja *invasividad* es más necesaria aún si se trabaja con piezas arqueológicas de extrema fragilidad (Barrio et al. 2012a: 73-74) o con superficies muy alteradas, en especial en aquellos que llevan capas de oro, nielados, aplicaciones de materia orgánica -hueso, marfil,... Pero no sólo se reduce el impacto frente a las restauraciones mecánicas, sino que también se puede aminorar la presencia residual de productos químicos, si se opta por su aplicación de éstos, pues en materiales de elevada absorción por ser porosos es difícil evacuarlos al completo.

Desde esta perspectiva, es preciso esgrimir un criterio de *sostenibilidad*, puesto que no habrá riesgos de acción degradante a medio y largo plazo por la contaminación por productos químicos. La técnica láser cumple, pues, estas expectativas, siempre que se maneje con fiabilidad y precisión.

Lo que no cabe plantear como un principio obligado es el de *reversibilidad*. Se ha traído en muchos casos como un dogma de fe, difícilmente comprobable. Y sólo en los menos se ha presentado como un criterio objetivamente evaluado y atribuido más al proceso que al producto (Appelbaum, 1987; Pasies 2012). En el caso que analizo, la propia acción de la ablación generada por el láser es en sí misma irreversible; como lo es en mismo grado una limpieza mecánica o química. Los procesos

de transformación o eliminación pueden detectarse y registrarse analíticamente o reconocerse físicamente, pero en modo alguno son retroactivos.

Como último principio deontológico, este Proyecto mantiene como objetivo principal *la estrategia para su conservación a largo plazo*, en consecuencia con lo que se recoge en la Carta de Cracovia (Apartado 3). El espíritu de esta recomendación se sustancia en un proceso de estudio en profundidad de las piezas por diversas técnicas analíticas y la aplicación durante la etapa de intervención restauradora de una técnica que genere condiciones de estabilidad propia frente al deterioro. A esta misma estrategia de estabilidad de los objetos restaurados se refiere el Código Deontológico para los Muecos del ICOM (2006), de manera concreta en la directriz 2.24 "Conservación y restauración de colecciones", se indica "...El principal objetivo debe ser la estabilización del objeto o espécimen...". Unos años después cuando ICOM-CC desglosa y concreta la terminología en nuestro campo, esta acción *stabilization of corroded metals* es recogida entre las propias que integran la que denomina *conservación curativa (Remedial conservation)* (ICOM-CC 2008).

En este sentido, el trabajo con láser sobre metales arqueológicos, por mi experiencia, ha aportado resultados esperanzadores para la conservación de estas piezas en buenas condiciones de cara al futuro. Así se ha recogido diversos trabajos publicados junto a otros investigadores (Barrio et al. 2006; Chamón et al. 2007). Pero para que se complete este principio de conservación a largo plazo de los objetos arqueológicos más vulnerables, debe abundarse en una estrategia de conservación preventiva en los museos donde finalmente las piezas serán depositadas. Por ello el ICOM había incluido en su directriz 2.23 sobre la Conservación preventiva "...La conservación preventiva es un elemento importante de la política de los museos....A los profesionales de museos les incumbe la responsabilidad fundamental de crear y mantener un entorno adecuado para la protección para las colecciones almacenadas, expuestas o en tránsito, de las que están encargados...". Sólo de esta manera se podría mantener la eficacia de un tratamiento.

Caso de aplicación: restauración con láser de una falcata de la necrópolis ibérica de El Salobral (Albacete)

No es mi idea dejar este artículo en un mero ensayo intelectual, sino bajar a la arena de la aplicación *clínica*, y hacerlo dentro de un programa de trabajo concreto en el Proyecto ARQUEOLÁSER. Cuando se opta por la técnica láser es porque el objeto presenta peculiaridades que impiden una limpieza completa y segura con una acción mecánica tradicional o química alternativa. Estas condiciones especiales que obligan a la búsqueda de una opción diferente para su intervención, pueden darse, cuando menos, en ciertos grupos de piezas metálicas con un estado de conservación muy singular, como el caso que presento.

La ejecución del Proyecto ARQUEOLÁSER lleva aparejada la puesta en práctica de un proceso pautado y progresivo (Protocolo de Trabajo-PT), que en el ámbito de la restauración tiene mucha importancia. Al ser el SECYR un Laboratorio con Certificación ISO-9001 (por el momento el único en España certificado para realizar trabajos de conservación y restauración de bienes arqueológicos), todo este proceso está recogido en nuestro Sistema de Calidad dentro de diferentes PT, aunque de manera más concreta en el PT 520. Este PT se atiene a los principios y criterios actuales de la

restauración científica presentados y valorados en páginas precedentes, y conforme una modulación de aplicabilidad no dogmática en la que creo firmemente.

Se trata de una pieza excepcional, perteneciente al Museo de Albacete: una falcata de la necrópolis ibérica de El Salobral (Albacete)², cuya restauración se realizó en el SECYR durante 2011 y 2012 dentro de proyectos i+D bajo mi dirección³. Corresponde a los registros SECYR 315 y 316 de SC Certificado. Fue el arma más importante depositada en el ajuar del guerrero enterrado bajo el Túmulo 2. Las dos fases de utilización de la necrópolis datan del V-IV a.C. (Blánquez, 1994); por tanto, la falcata T2 es una pieza de una notable antigüedad.



Figura 1. Vista general del estado de conservación inicial de la falcata T2 de la necrópolis ibérica de El Salobral (Albacete): alta fragmentación, pérdida de material, intensa corrosión superficial. La técnica de extracción ha permitido mantener unidos muchos fragmentos.

Como se observa en las imágenes que adjuntamos, el estado de conservación es muy malo, calificado en el Nivel III. De manera abreviada, en este estadio integra las piezas que conservan poco o nada núcleo metálico, con un proceso de mineralización si no completa, sí a punto de llegar a su estado final. En todos los casos los objetos se caracterizan por su extrema fragilidad. Los hierros, como el que conforma esta falcata, pueden conservar la forma intacta con algún aumento volumétrico; pero cuando se trata de piezas férreas con nielados o cobres dorados la capa de dorado o los hilos de plata se encuentran ya encapsulados entre dos paquetes de corrosión muy sólidos y poco estables. Su eliminación completa es muy difícil sin arriesgar la pérdida de estas capas en metales nobles, por otra parte, menos corroídas que el substrato en atención a su distinta naturaleza electroquímica.

Además de presentar un grado de corrosión muy severo la falcata T2 está completamente fragmentada [figura 1]. Esta situación se ha generado en buena medida porque ha llegado a una completa mineralización, que a su vez ha provocado la fragilidad de la estructura de hierro. Una de las causas que más ha pesado, sin duda, para generar el gravísimo estado de conservación de esta arma ha sido el proceso de cremación junto al cadáver del guerrero en la pira funeraria, donde la temperatura pudo alcanzar más de 900°C. Y ello en connivencia con unas condiciones deposicionales del enterramiento de alta agresividad: elevada humedad, salobridad del terreno, irrigación cíclica, presencia de iones Cl- ..., como pusimos de manifiesto en la publicación de los resultados de la restauración de la falcata del Túmulo 1 de esta misma necrópolis ibérica (Barrio y Hermana 1998).

El núcleo interno compacto está formado por wustita, muy dura pero frágil y de fácil fractura. Debido a las abundantes roturas que ha sufrido durante el enterramiento algunas partes de la falcata T2 han perdido su conexión. A esta fragmentación, se une el desprendimiento laminar del hierro (hojaldrado) con pérdida de la superficie original en algunas áreas [figuras 2 y 3]. Especialmente sensible al deterioro ha sido la zona media-alta de la hoja por donde esta arma se había doblado ritualmente para inutilizarla y poder meterla en el pozo de enterramiento junto a la urna con sus cenizas y el resto de los elementos de su ajuar. Esta zona de falcata nos ha llegado incompleta, por lo que la recuperación de su legibilidad nos exigió un procedimiento más allá de la sola integración de los diversos fragmentos.

El paquete de productos de alteración sin ser muy espeso es bastante resistente. Más externamente muestra una capa porosa, agrietada, donde se amalgaman tierras, restos del consolidante e hidróxidos de hierro. Bajo ésta existe una segunda capa más compacta formada en mayor medida por productos de corrosión del hierro [figura 4]. Es importante destacar que gracias a que se recuperó en la excavación por medio de un engasado superficial impregnado con un consolidante nitrocelulósico su estado no es aún peor (*vid.* figura 1). Tengo que decir, haciendo justicia a los restauradores que ejecutaron estos trabajos en el yacimiento, que si la extracción no se hubiese hecho de manera tan cuidadosa y con apoyo de una eficaz consolidación, la falcata nunca podría haberse salvado. Esta actuación evidencia un criterio correcto y riguroso de conservación preventiva que debiera ser una norma de obligado cumplimiento en la extracción in situ de piezas metálicas.



Figura 2. Empuñadura de la pieza donde se aprecia bajo los engasados la potencia de la capa de productos de alteración amalgamados con tierras. Se observa la pérdida de pequeños restos de corrosión.

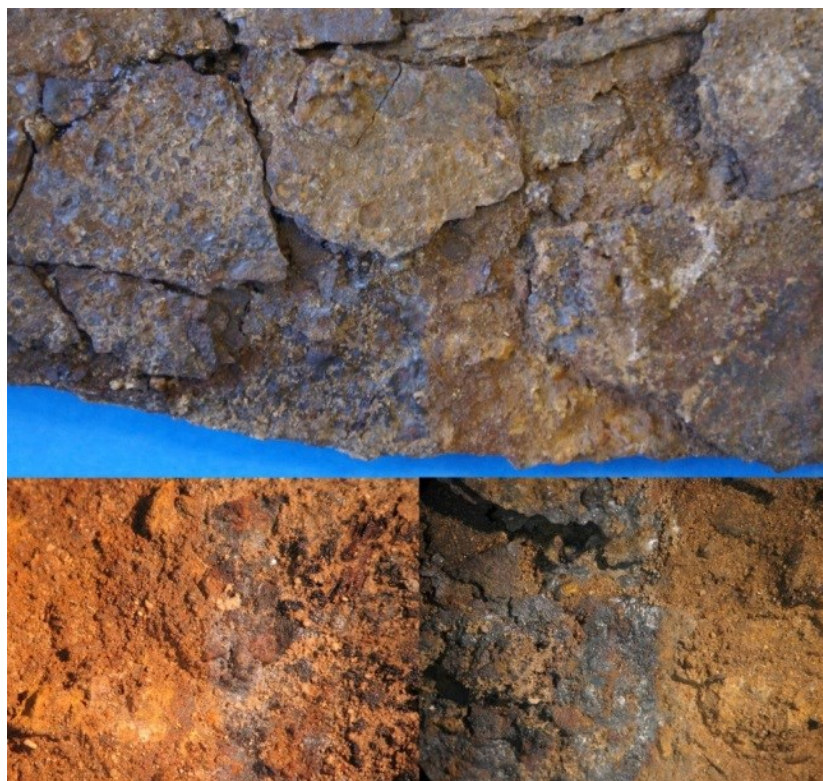


Figura 3. Imágenes de la superficie de la hoja de la falcata que detallan la extrema delaminación. En las inferiores se aprecian los primeros resultados de la acción del láser sobre los productos de corrosión del hierro.



Figura 4. Fragmento de la zona media de la falcata T2 afectada por numerosas grietas formadas en la estructura mineralizada generadas por la tensión en la zona de doblez de la hoja; en la parte izquierda se ha realizado una primera limpieza con láser.

Previamente a cualquier intervención se realiza un análisis radiológico⁴. Las imágenes visibles de RX reafirman el diagnóstico del interior de las estructuras, donde apenas quedan restos de núcleo metálico. Se perciben bien tanto las áreas de mayor intensidad en la corrosión como los detalles de los roblones o espigas de la empuñadura. Se reconocen las fisuras más importantes que penetran en el interior de la pieza. Todos estos detalles permiten acercarse con precisión a la tecnología metalúrgica de esta pieza [figuras 5 y 6].

Para investigar los pormenores del deterioro de la falcata T2, a partir de restos de las capas de alteración desprendidas, se realizan también análisis DRX de la costra de corrosión de la superficie exterior. El objetivo ha sido conocer qué minerales están presentes en la superficie del metal, formando esa costra de alteración que vemos en las imágenes macroscópicas, para que una vez concluya el proceso de restauración hacer una validación por DRX o LIBS de los cambios y transformaciones en algunos puntos de interés de la superficie original de la falcata T2. En las medidas de dos puntos que recogemos en la tabla adjunta [tabla 1], se anotan con detalle estos compuestos, donde hay presencia de derivados del hierro y también de otros propios del contendor geológico, como la calcita, el cuarzo y el óxido de magnesio. Un resultado que se acomoda muy bien a los registros analíticos obtenidos en otras ocasiones en piezas de hierro.

Pero dentro de la mejora del protocolo de análisis hemos procedido a incorporar de manera habitual la técnica LIBS en la caracterización cualitativa de los productos de corrosión antes de la limpieza; el monitoreo continuado con esta técnica de espectrometría según se avanza con la limpieza láser facilita la comprobación por diferencia de intensidades del espectro cuando se ha completado la tarea de restauración de la falcata T2. La rapidez y utilidad de este método de validación de resultados es notable, y si fuese necesario, podría completarse con datos difractométricos.

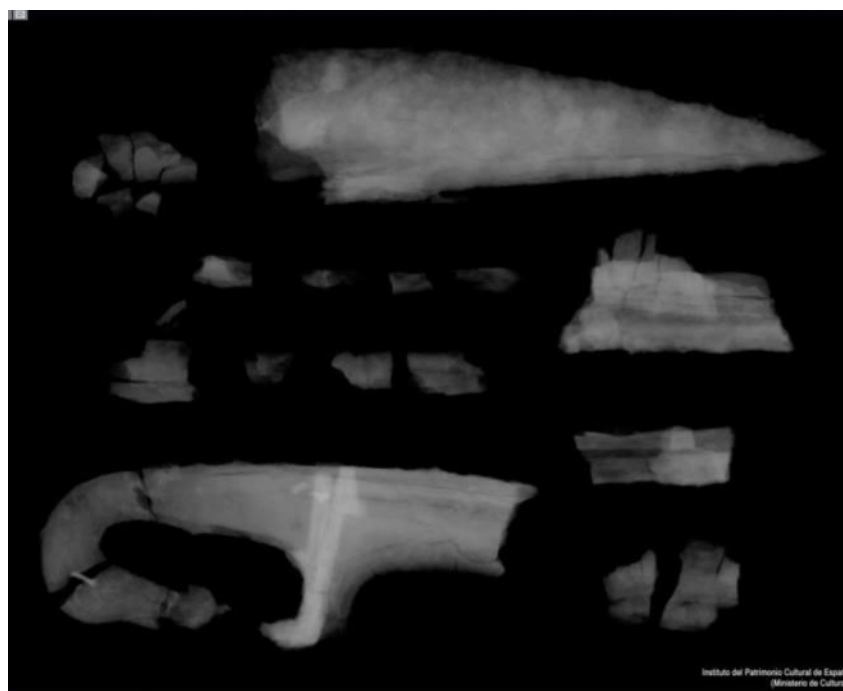


Figura 5. Imagen RX general de todos los elementos de la falcata T2 (Lab. Estudios Físicos. IPCE).

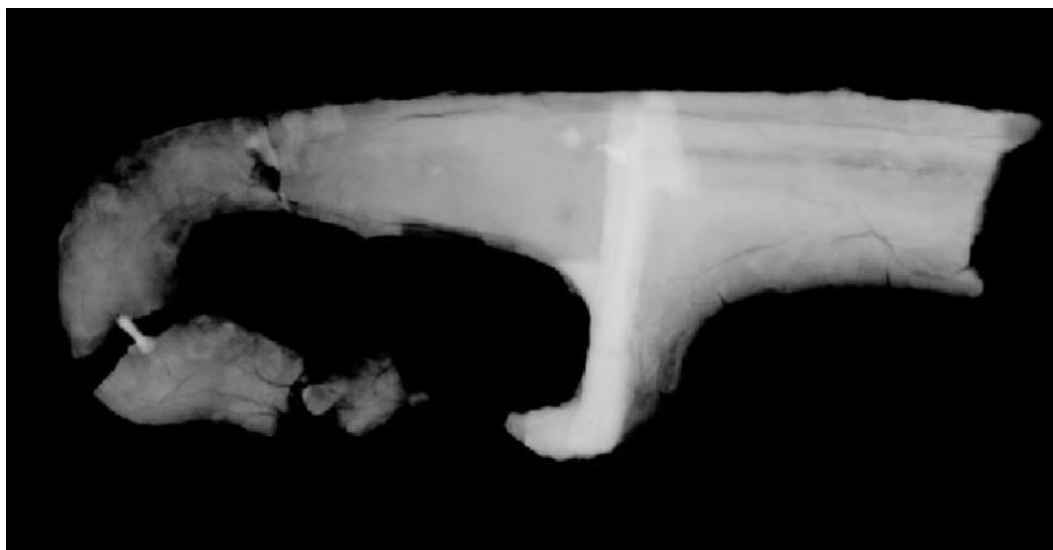


Figura 6. Imagen RX de la empuñadura y parte de la hoja donde se aprecia la profunda alteración de la estructura interna y detalles de interés de su tecnología de manufactura (Lab. Estudios Físicos. IPCE).

Tabla 1. Datos DRX de la composición mineral de la superficie de la falcata T2 en dos muestras distintas de la empuñadura y de la hoja.

DRX Compuestos antes de Láser (315.2.a)	DRX Compuestos antes de Láser (315.1.b)
Calcita	Brushita
Óxido de Magnesio	Calcita
Cuarzo	Óxido de Magnesio
Hematita	Cuarzo
Goetita	Goetita

Los análisis LIBS de los elementos presentes en la costra de alteración permiten ratificar los datos de DRX, sin llegar a ser tan precisos. Hay asimismo una presencia elevada de compuestos minerales con calcio y compuestos de corrosión de hierro. En la imagen [gráfico 1] se ve la superposición de los dos espectros en un punto extremo de la empuñadura y las diferencias que presentan antes y después de la intervención con láser. En el espectro en línea negra destaca con preferencia esa intensa emisión de los canales del calcio, que responden sin duda a la detección de la calcita; tampoco podría descartarse la existencia más residual de algún compuesto de hierro con presencia de calcio, caso de la siderita. Después de someter la falcata a la ablación del láser, se recupera y se aprecia ópticamente una capa homogénea y estéticamente agradable, que corresponde a la pátina de magnetita de la superficie original de la pieza. El segundo espectro en línea roja, tomado cuando se concluye la restauración con el láser de este mismo punto de la empuñadura, muestra una reducción en más del 65% en los picos de emisión del calcio; una respuesta acorde con la eliminación de la calcita de la capa de corrosión de la superficie. Y en consonancia un considerable aumento en todos los canales de emisión del hierro. Teniendo en cuenta otros datos analíticos

registrados por nuestro grupo en hierros arqueológicos de condiciones similares (Barrio et al. 2012b), cabe interpretarse por la presencia de minerales estables de hierro, como la magnetita. Esta evaluación se corrobora ópticamente por el aspecto que ha recuperado la superficie original de la falcata.

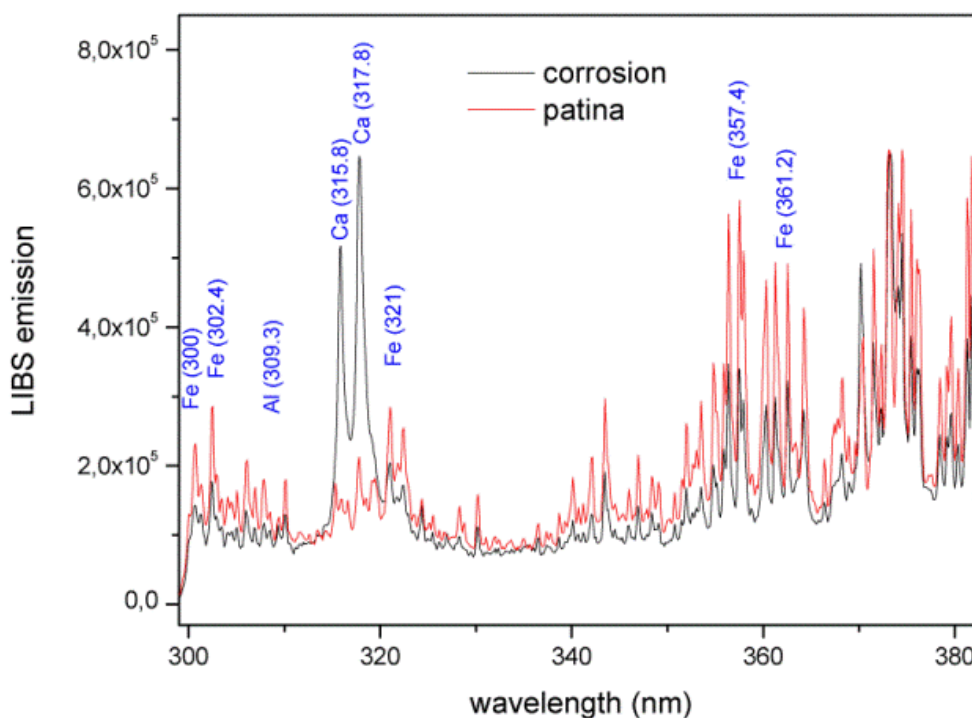


Gráfico 1. Espectros de LIBS de la zona final de la empuñadura para evaluación de efectos de la limpieza láser; en negro los elementos y su intensidad antes del láser y en rojo después del láser donde se aprecia la fuerte eliminación de los compuestos de Ca y el predominio ahora de Fe.

En la ejecución concreta de la restauración de la falcata T2 se han combinado técnicas mecánicas, espátula ultrasónica y láser; responde a un protocolo que ha dado buenos resultados en otros casos dentro de esto proyectos. En primera instancia, se debieron retirar los engasados de la consolidación in situ pero evitando el levantamiento y desubicación de las láminas de la superficie original desprendidas; y ello, en atención al principio de *autenticidad* [figura 7]. En esta tarea fue muy útil la intervención con láser en parámetros de muy baja intensidad para eliminar los restos del consolidante nitrocelulósico amalgamado con tierras.

La espátula ultrasónica hace posible que las placas de corrosión más superficiales puedan saltar; en todo momento se ha controlado el impacto de las vibraciones para evitar nuevas fisuras.

Para retirar la capa de productos de alteración asentada directamente sobre la pátina se actúa con el láser, intentando combinar los efectos mecánicos con los fototérmicos. Como se evidencia en la [figura 8], es necesario realizar dos etapas de limpieza, en condiciones de trabajo distintas, para conseguir recuperar la superficie homogénea de magnetita (Dickmann et al. 2001, 2005). Es una *intervención mínima* que no ha querido ir más allá. Entre una y otra etapa se retiraban

mecánicamente los residuos dejados por el láser, especialmente cuando la película ablacionada compuestas de restos de óxido de silicio no dejada avanzar en la restauración. El resultado conseguido en la *recuperación de la pátina* es muy bueno, pero irregular, pues en algunas áreas habían desaparecido esa capa original. Y así lo hemos visto confirmado no sólo con procedimiento óptico microscópico sino mediante los análisis LIBS recogidos en la gráfica 1.

Se utiliza el siguiente equipo propio del SECYR:

EOS 1000 SFR (Nd:YAG 1064 de longitud de onda, duración pulso 60-120 microsegundos).

Los parámetros concretos de trabajo han sido éstos:

1ª etapa: Energía 450mJ; Spot 4mm; Frecuencia 6 Hz; Fluencia 3,6 Jcm²

2ª etapa: Energía 350mJ; Spot 4mm; Frecuencia 4 Hz; Fluencia 2,8 Jcm²

Otros autores desde planteamientos metodológicos algo distintos, han experimentado con láseres de diferente configuración a éste, obteniendo resultados satisfactorios, aunque en hierros históricos o arqueológicos que aún tenían existencia de núcleo metálico (Sook Koh y Sáraday 2003; Sook Koh 2006: 23-28; 45-60).

Para recuperar *la autenticidad perdida* y devolver carácter documental que tuvo la falcata T2 ha sido necesario lograr su completa legibilidad mediante la integración de los numerosos fragmentos en que había llegado al SECYR. También se han asentado todas las láminas superficiales desprendidas. Para validar la restauración hemos realizado un control higrométrico en campana a fin de comprobar que la corrosión no estaba activa en el hierro de la falcata T2 [figura 9]. Se ha unido con resina epoxídica UHU®PLUS con carga de pigmento natural, puesto que muchas de las fracturas eran antiguas y muy deformadas.

Sin embargo, esta completa lectura de la pieza sólo se ha conseguido cuando se han reintegrado las lagunas que tenía la falcata T2 en su zona media; se trataba no sólo de una reintegración estética e histórica sino consolidante, pues daba garantías de estabilidad mecánica y seguridad en el manejo de la pieza para su posterior estudio por el equipo de arqueólogos. Se ha utilizado BALSITE W®, una resina epoxídica tipo madera que se ha entonado de color. El proceso seguido de integración y reintegración de las lagunas ha sido imprescindible para la devolución de una solidez unitaria a la pieza, haciendo posible una lectura correcta tanto de sus aspectos matéricos y tecnológicos como en lo que supone de documentación arqueohistórica del ritual practicado en esa tumba ibérica; una práctica corroborada con la inutilización mediante doblado de otra de las armas, el soliferrum, de la panoplia del guerrero enterrado en el Túmulo 2 de la necrópolis ibérica de El Salobral [figura 10].

El trabajo se ha finalizado aplicando por impregnación a la superficie, con peligro de desprendimiento debido a su delaminación, una capa de consolidación/protección de Paraloid® al 3% en Xileno/Acetona 50%).

A pesar de la notable complejidad del trabajo, la aplicación de técnicas láser en restauración de la falcata T2 ha conseguido unos resultados extraordinarios, garantizando no sólo la recuperación de la superficie original de la pieza sino generando unos productos bien estables, además de devolver todo su contenido estético e histórico a esta espléndida arma ibérica.



Figura 7. Trabajo complejo de reubicación de las láminas desprendidas de capa superficial de la hoja de la falcata: aspecto general al retirar los engasados (7a), y proceso de colocación en posición original.



Figura 8. Efecto de la limpieza con láser en la zona de la empuñadura (8a antes de la ablación); nótese la diferencia en la recuperación de la superficie original muy modificada por la total mineralización del hierro (8b).



Figura 9. Control higrométrico de la estabilidad de la falcata T2 durante el proceso de limpieza con láser.



Figura 10. (10a)Proceso de reintegración de lagunas en la zona media de la hoja. (10b) La falcata T2 después de la restauración que he hecho posible su legibilidad estética y arqueohistórica.

Conclusiones

La introducción de una nueva tecnología de las características del *láser* en la restauración de bienes arqueológicos, requiere también su adecuación a las normas que guían nuestra tarea como profesionales del Patrimonio. Unos criterios y principios éticos (en complementación a los principios científicos) que sin ser exhaustivos marcan con acierto la implantación de esta técnica en los comienzos del siglo XXI; su aceptación parece bastante consolidada entre los restauradores, conservadores de Museos y arqueólogos. La llegada de un procedimiento innovador siempre lleva aparejado riesgos en la intervención de los objetos, y más si estos presentan problemas delicados. Por eso es importante establecer un Protocolo de Trabajo que se ajuste a estos principios de la conservación científica definidos en las Cartas de Restauración y en las Directrices de ICOM-CC.

La restauración de la falcata ibérica del Túmulo 2 de la necrópolis de El Salobral completada dentro del Proyecto ARQUEOLÁSER me ha servido de caso práctico para aplicar y mostrar la implantación de esta técnica de innovación, con la que hemos obtenido unos resultados muy positivos. Y hacerlo, estableciendo en cada fase del PT la pauta de ejecución a la vista de los criterios éticos de conservación, y teniendo en cuenta los principios científico-técnicos. Una tarea en la que debemos seguir insistiendo en las restauraciones futuras de objetos arqueológicos para que se transmitan al futuro en las mejores condiciones.

Notas y agradecimientos

- [1] Este trabajo se ha desarrollado dentro de los proyectos i+D "Aplicación de las tecnologías láser en la conservación y restauración de los metales arqueológicos" (HAR2008-05175/HIST. MICINN) "El Láser como herramienta tecnológica en conservación-restauración del patrimonio arqueológico" (CEMU 003. UAM 2012).
- [2] Nuestro agradecimiento tanto al Profesor Juan Blánquez, quien llevo a cabo la excavación de esta extraordinaria necrópolis ibérica de El Salobral, como a la directora del Museo de Albacete, Dña. Rubí Sanz Gamo y a la conservadora Dña. Blanca Gamo, que han tenido la amabilidad de hacer préstamo de los materiales metálicos del Túmulo 2 para su investigación y restauración en el marco de los referidos Proyectos.
- [3] En la intervención e investigación de la esta pieza (SECYR 315 y 316) han participado, además de yo mismo, los Técnicos del SECYR contratados en ese momento Dña. Elena Catalán Mézquiriz y la Dra. Carolina Gutiérrez Neila. A ellas mi reconocimiento y gratitud.
- [4] La Radiografía de la falcata se ha realizado en el Laboratorio de Estudios Físicos del IPCE. Nuestro agradecimiento a los técnicos T. Antelo y M. Bueso.

Bibliografía

APPELBAUM, B. (1987). "Criteria for treatment: reversibility", *Journal of the American Institute for Conservation*, 26-2: 65-73.

BARRIO, J. y HERMANA, F. (1998). "Méthode de conservation et restauration d'une Falcata Ibérique de la Nécropole de El Salobral (Albacete, Espagne)", en Mourey, W. y Robbiola, L. (eds.) *Proceedings of The International Conference on Metal Conservation, METAL 98*, ICOM-CC. Draguignan, France. London: Ed. James & James, 176-184.

BARRIO, J., ARROYO, M., CHAMÓN, J., PARDO, A. I., CRIADO, A. (2006). "Laser cleaning of archaeological metal objects", *Heritage, Weathering and Conservation*. Ed. Taylor & Francis Group, London, Vol II: 699-707.

BARRIO, J., CATALÁN, E., GUTIÉRREZ, P.C., MEDINA, M^aC., SANZ, C. (2012a). "Reexcavar la tumba 158 de la necrópolis vacca de Las Ruedas de Pintia (Peñafiel, VA): Aplicaciones de técnicas láser en la restauración de la panoplia". *Vaccea Anuario* 5. 2011: 70-74.

BARRIO, J., MEDINA, M^aC., CID J.P., PARDO, A.I. TURÉGANO, M. (2012b): "Possibilities of LASER conservation of metal objects from archaeological context". En *International Congress Science and Technology for the Conservation of Cultural Heritage*. 2-5 octubre 2012. Santiago de Compostela. En prensa.

BLÁNQUEZ, J. (1994). "La necrópolis tumular ibérica de El Salobral (Albacete)", *Verdolay* 6: 199-208.

BERTHOLON, R. (2000). *La limite de la surface d'origine des objets métalliques archéologiques*. Thèse Doct. Université Paris I. Pantheon-Sorbonne.

BRANDI, C. (1988). *Teoría del Restauo*. Madrid: Alianza Forma.

CHAMÓN, J., BARRIO, J., E. CATALÁN, M. ARROYO, A. I. PARDO (2007). "Nd:YAG laser cleaning of heavily corroded archaeological iron objects and evaluation of its effects". En *LACONA VII*, Castillejo & Moreno & Ruiz (eds.) London, 297.

CHITTY, W.J., DILLMANN, P., L'HOSTIS, V., LOMBARD, C. (2005). "Long-term corrosion resistance of metallic reinforcements in concrete. A study of corrosion mechanisms based on archaeological artefacts", *Corrosion Science* 47: 1555-1581.

DICKMANN, K. HILDENHAGEN, J., STUDER, J., (2001). "Laser removal of corroded layers from archaeological ironwork". En *LACONA IV*, ICOMOS, Paris: Vergés-Belmin, V. (ed.) France, 71-74.

DICKMANN, K. HILDENHAGEN, J., STUDER, J., MUSH, E. (2005). "Archaeological ironwork: removal corrosion layers by Nd:YAG laser". En *LACONA V*. Berlin : 34-39.

PASIES, T. (2012). "Reconstrucciones desmontables como alternativa reversible en el proceso de reintegración de materiales arqueológicos". *GeConservacion* 3:117-131.

SOOK KOH, Y. (2006) *Laser Cleaning as a Conservation Technique for Corroded Metal Artifacts*, Doctoral Thesis, Division of Manufacturing Systems Engineering. Department of Applied Physics and Mechanical Engineering, University of Technology, Luleå, Sweden.

SOOK KOH Y. SÁRADAY, I. (2003). "Cleaning of corroded iron artefacts using pulsed TEA CO₂ and Nd:YAG-laser", *Journal of Cultural Heritage* 4: 129-133.

SIANO, S. (2007): "Principles of Laser Cleaning in Conservation". En *Handbook The Use of Lasers in Conservation and Conservation Science*. M. Schreiner, M. Strli (eds.) COST G7.

Documentos técnicos y deontológicos

ICOM-CC (2006) *Código de Deontología del ICOM para los Museos*. Asamblea General ICOM en Seúl (Corea).

ICOM (2008). "Terminology to characterize the conservation of tangible cultural heritage". En Triennial meeting (15th), New Delhi: ICOM-CC.

Carta de Atenas 1931.

Carta de Venecia 1964.

Carta del Restauo de Roma de 1972.

Carta del Restauo de Roma 1987.

Carta de Cracovia 2000.



Joaquín Barrio Martín
joaquin.barrio@uam.es

Catedrático de Arqueología, con especialidad Conservación y Restauración del P. Arqueológico, en el Dpto. de Prehistoria y Arqueología de la UAM. Imparte docencia en cursos de Grado y Postgrado (Máster y Doctorado) de materias relacionadas con la Conservación y Restauración del Patrimonio Arqueológico tanto en la UAM como en otras Universidades, dando como resultado la dirección de Tesis de Máster y de Tesis Doctorales dentro de este campo. La línea de investigación actual con dirección de proyectos de i+D está centrada en la *“Aplicación de tecnologías innovadoras en la conservación y restauración del P. Arqueológico”*, y ha dado lugar a la publicación de numerosos artículos en revistas nacionales e internacionales, libros, actas de congresos, capítulos de libros e informes técnicos dentro de este ámbito de la conservación y restauración del P. Arqueológico. Miembro de instituciones como el ICOM, GEIIC, AEND, Academia de Historia y Arte de San Quirce,... Así mismo, forma parte de las Comisiones Nacionales de Proyectos i+D y de la Comisión Nacional de Doctorados de Excelencia (Rama de Artes y Humanidades).

Artículo enviado el 18/02/2013

Artículo aceptado el 01/05/2013