

*ANEJOS a
CuPAUAM
4*

*Docendo discimus
Homenaje a
la profesora Carmen Fernández Ochoa*

Luis Berrocal-Rangel, Alfredo Mederos Martín (eds.)
Dpto. de Prehistoria y Arqueología - Facultad de Filosofía y Letras
Vicerrectorado de Investigación
Madrid, 2020

SUMARIO

PRESENTACIÓN	
<i>Luis Berrocal Rangel</i>	11-12
CARMEN FERNÁNDEZ OCHOA: PASIÓN POR LA ARQUEOLOGÍA <i>CARMEN FERNÁNDEZ OCHOA: PASSION FOR ARCHAEOLOGY</i>	
<i>Mar Zarzalejos Prieto y Ángel Morillo Cerdán</i>	13-17
CONVERSANDO CON MELUS EN LA VILLA ROMANA DE CARRANQUE <i>CONVERSING WITH MELUS IN THE ROMAN VILLA OF CARRANQUE</i>	
<i>Manuel Bendala Galán</i>	19-28
AL HILO DE LA EXPERIENCIA. REFLEXIONES PERSONALES SOBRE LA HISTORIA DE LA ARQUEOLOGÍA CLÁSICA EN ESPAÑA <i>IN THE WAKE OF THE EXPERIENCE. PERSONAL REFLECTIONS ON THE HISTORY OF CLASSICAL ARCHAEOLOGY IN SPAIN</i>	
<i>Lorenzo Abad Casal</i>	29-37
NOTAS DE LECTURA <i>READING NOTES</i>	
<i>Carmen Aranegui Gascó</i>	39-42
LOS PROCESOS DE APRENDIZAJE EN LAS SOCIEDADES PREHISTÓRICAS. UN ENFOQUE ETNOARQUEOLÓGICO <i>APPRENTICESHIP PROCESSES IN PREHISTORIC SOCIETIES. AN ETHNOARCHAEOLOGICAL APPROACH</i>	
<i>Isabel Rubio de Miguel</i>	43-53
LA PRIMERA CAMPAÑA DE EXCAVACIÓN EN EL POBLADO CALCOLÍTICO DE VALENCINA DE LA CONCEPCIÓN (SEVILLA). EL CORTE ESTRATIGRÁFICO 1, 1971. FASES DEL CALCOLÍTICO INICIAL Y CAMPANIFORME <i>THE FIRST EXCAVATION CAMPAIGN IN THE CHALCOLITHIC SETTLEMENT OF VALENCINA DE LA CONCEPCIÓN (SEVILLE). STRATIGRAPHIC GRID 1, 1971. EARLY COPPER AGE AND BELL BEAKER PHASES</i>	
<i>Diego Ruiz Mata y Alfredo Mederos Martín</i>	55-70
NUEVOS ANÁLISIS TRACEOLÓGICOS, ARQUEOMÉTRICOS Y PETROLÓGICOS DE MATERIAL METÁLICO Y LÍTICO RECUPERADO EN UN LUGAR SAGRADO DE LA CULTURA DE LAS MOTILLAS: CASTILLEJO DEL BONETE (TERRINCHES, CIUDAD REAL) <i>NEW TRACEOLOGICAL, ARCHAEOMETRIC AND PETROLOGICAL ANALYSIS OF METALLIC AND LITHIC MATERIAL RECOVERED IN A SACRED PLACE OF THE CULTURE OF THE MOTILLAS: CASTILLEJO DEL BONETE (TERRINCHES, CIUDAD REAL)</i>	
<i>Luis Benítez de Lugo Enrich, Eleuterio Baeza Chico, Graciela Delvene, Carmen Gutiérrez Sáez, Belén Márquez Mora, Gabriel Menchén Herreros, Pedro Muñoz Moro y Carlos Odriozola Lloret</i>	71-81
APUNTES PARA EL ESTUDIO DEL TERRITORIO DE EXPLOTACIÓN DIRECTA DEL CERRO DE LA ENCANTADA (GRANÁTULA DE CALATRAVA, CIUDAD REAL) <i>NOTES FOR THE STUDY OF THE DIRECT EXPLOITATION TERRITORY OF THE CERRO DE LA ENCANTADA (GRANÁTULA DE CALATRAVA, CIUDAD REAL)</i>	
<i>Catalina Galán Saulnier</i>	83-91
LAS ESTELAS DE GUERRERO DEL VALLE MEDIO DEL TAJO. RECREACIÓN EXPERIMENTAL DEL PROCESO DE ELABORACIÓN <i>THE WARRIORS STELAE OF THE MIDDLE VALLEY OF THE TAGUS. EXPERIMENTAL RECREATION OF THE ELABORATION PROCESS</i>	
<i>Carmen Gutiérrez Sáez, Pedro Muñoz Moro, Juan Pereira y Teresa Chapa Brunet</i>	93-104
EL FINAL DE LOS "POBLADOS DE HOYOS": LA OCUPACIÓN DEL HIERRO ANTIGUO EN EL YACIMIENTO DE SOTO DEL HENARES (TORREJÓN DE ARDOZ, MADRID) <i>THE DECLINE OF THE "PIT SETTLEMENTS": THE EARLY IRON AGE (9TH-8TH CENTURIES BC) OCCUPATION IN THE SITE OF SOTO DE HENARES (TORREJÓN DE ARDOZ, MADRID)</i>	
<i>Concepción Blasco, Lorenzo Galindo, Vicente M. Sánchez, Patricia Ríos y Corina Liesau</i>	105-124

<p>LA CRONOLOGÍA DEL YACIMIENTO PROTOHISTÓRICO DE CANCHO ROANO (ZALAMEA DE LA SERENA, BADAJOZ, ESPAÑA): DATACIONES RADIOCARBÓNICAS, MESETA DE HALLSTATT Y EFECTO MADERA VIEJA <i>THE CHRONOLOGY OF THE IRON AGE SITE OF CANCHO ROANO (ZALAMEA DE LA SERENA, BADAJOZ, SPAIN): RADIOCARBON DATES, HALLSTATT PLATEAU AND OLD WOOD EFFECT</i></p>	125-137
<p>UNA APROXIMACIÓN A LA HISTORIA ECONÓMICA DE ETRURIA MERIDIONAL DESDE EL CASTRO ETRUSCO DE LA CASTELLINA SUL MARANGONE <i>OVERVIEW OF THE ECONOMIC HISTORY OF SOUTHERN ETRURIA BASED ON THE ETRUSCAN SITE OF CASTELLINA SUL MARANGONE</i></p>	139-149
<p>EVOCACIONES A LA ICONOGRAFÍA DE “HORUS SOBRE LOS COCODRILOS” EN EL EVANGELIO APÓCRIFO DEL PSEUDO-MATEO <i>AN EVOCATION OF “HORUS ON CROCODILES” ICONOGRAPHY IN PSEUDO-MATTHEW’S APOCRYPHAL GOSPEL</i></p>	151-158
<p>LA VISIBILIZACIÓN DE LA INFANCIA EN LOS SANTUARIOS DE LA CULTURA IBÉRICA <i>MAKING CHILDREN VISIBLE IN SANCTUARIES OF THE IBERIAN CULTURE</i></p>	159-167
<p>LA CIUDAD DE ISTURGI (LOS VILLARES DE ANDÚJAR, JAÉN) ENTRE <i>OPPIDUM</i> Y <i>MUNICIPIUM</i>. NOTAS Y EVIDENCIAS ACERCA DE UN POSIBLE ENCINTADO POLIORCÉTICO IBERORROMANO <i>THE CITY OF ISTURGI (LOS VILLARES DE ANDÚJAR, JAÉN) BETWEEN OPPIDUM Y MUNICIPIUM. NOTES AND EVIDENCE ABOUT A POSSIBLE IBERORROMAN POLYORCETIC WALL</i></p>	169-178
<p>CONSERVACIÓN Y DESTRUCCIÓN DE LAS ESCULTURAS DE VERRACOS. SU REAPROVECHAMIENTO COMO MODO DE PRESERVACIÓN <i>THE CONSERVATION AND DESTRUCTION OF THE VERRACOS. REUSE AS A WAY OF PRESERVATION</i></p>	179-189
<p>PIEDRAS DE TOQUE EN CASTROS DE GALICIA Y ASTURIAS <i>TOUCHSTONES IN HILLFORTS OF GALICIA AND ASTURIAS</i></p>	191-200
<p>LOS ASTURES DE LOS TEXTOS Y DE LA ARQUEOLOGÍA <i>THE ASTURES IN TEXTS AND ARCHAEOLOGY</i></p>	201-210
<p>LA ORDENACIÓN TERRITORIAL ROMANA DEL ALTO GUADIANA Y EL <i>CORPUS INSCRIPTIONUM LATINARUM (CIL)</i> <i>THE ROMAN TERRITORIAL ORGANIZATION OF THE UPPER GUADIANA RIVER AND THE CORPUS INSCRIPTIONUM LATINARUM (CIL)</i></p>	211-219
<p>UNA NUEVA <i>CETARIA</i> EN ROTA Y EL <i>GARUM</i> DE SARDINAS EN ÉPOCA ALTOIMPERIAL <i>A NEW CETARIA AT ROTA AND THE PRODUCTION OF SARDINES’GARUM IN HIGH IMPERIAL TIMES</i></p>	221-234
<p>LA ELABORACIÓN DE ACEITE DE OLIVA EN LA BÉTICA ROMANA. TÉCNICAS Y PROCESOS <i>THE ELABORATION OF OLIVE OIL IN ROMAN BAETICA. TECHNIQUES AND PROCESSES</i></p>	235-245
<p>UNA EXCEPCIONAL CABEZA ROMANA DE ESFINJE EN EL MUSEO ARQUEOLÓGICO DE JEREZ DE LA FRONTERA (CÁDIZ) <i>AN EXCEPTIONAL ROMAN SPHINX HEAD FROM THE ARCHAEOLOGICAL MUSEUM OF JEREZ DE LA FRONTERA (CÁDIZ)</i></p>	247-252
<p>UN NUEVO ALTAR VOTIVO DEL <i>AGER ILURONENSIS</i> HALLADO EN CABRERA DE MAR (BARCELONA) <i>A NEW VOTIVE ALTAR IN THE AGER ILURONENSIS, FOUND AT CABRERA DE MAR (BARCELONA)</i></p>	253-258

UN MODELO DE IMPLANTACIÓN DE ROMA EN EL NOROESTE PENINSULAR: LA CONSTRUCCIÓN DE GRANEROS SOBREELEVADOS EN LOS CASTROS <i>A MODEL OF IMPLANTATION OF ROME IN THE NORTHWEST OF THE IBERIAN PENINSULA: THE CONSTRUCTION OF RAISED GRANARIES IN THE CASTROS CULTURE</i> <i>Javier Salido Domínguez</i>	259-271
FÍBULAS DE HIERRO ROMANAS Y MILITARES EN EL CENTRO-NORTE DE <i>HISPANIA</i> EN LOS INICIOS DEL IMPERIO <i>ROMAN AND MILITARY IRON BROOCHES (FIBULAE) IN NORTH-CENTRAL HISPANIA AT THE BEGINNING OF THE EMPIRE</i> <i>Carmelo Fernández Ibáñez</i>	273-281
EL OCULTAMIENTO DE BRONCES ALTOIMPERIALES HALLADO EN LA PARROQUIA DE CENERO, GIJÓN (ASTURIAS) <i>THE TREASURE OF ROMAN BRONZE COINS FOUND IN THE PARISH OF CENERO, GIJÓN (ASTURIAS)</i> <i>Fernando Gil Sendino y Otilia Requejo Pagés</i>	283-296
RESTAURACIÓN CON TÉCNICA LÁSER DE EPÍGRAFES ARQUEOLÓGICOS ROMANOS EN MÁRMOL DE SISAPO (LA BIENVENIDA, ALMODÓVAR DEL CAMPO, CIUDAD REAL) <i>LASER TECHNOLOGY FOR CONSERVATION OF ROMAN ARCHAEOLOGICAL MARBLE EPIGRAPHS FROM SISAPO (LA BIENVENIDA, ALMODÓVAR DEL CAMPO, CIUDAD REAL)</i> <i>Joaquín Barrio Martín, M^a Cruz Medina Sánchez, Inmaculada Donate Carretero y Ana Isabel Pardo Naranjo</i>	297-306
CELEBERRIMO SISAPONENSI REGIONE IN BAETICA MINIARIO METALLO... VÍAS DE INVESTIGACIÓN SOBRE EL CINABRIO HISPANO EN ÉPOCA ROMANA <i>CELEBERRIMO SISAPONENSI REGIONE IN BAETICA MINIARIO METALLO... LINES OF RESEARCH ON HISPANIC CINNABAR IN ROMAN TIMES</i> <i>Mar Zorzalejos Prieto, Germán Esteban Borrajo, Patricia Hevia Gómez y María Rosa Pina Burón</i>	307-316
LA DOMUS DE LA "HUERTA DE OTERO" EN MÉRIDA <i>THE DOMUS OF THE "HUERTA DE OTERO" IN MÉRIDA</i> <i>Pedro Mateos Cruz y Félix Palma García</i>	317-324
UN TALLER DE HUESOS DE ÉPOCA ROMANA EN REGINA (CASAS DE REINA, BADAJOZ) <i>A BONE WORKSHOP FROM ROMAN TIMES IN REGINA (CASAS DE REINA, BADAJOZ)</i> <i>F. Germán Rodríguez Martín</i>	325-334
DOMINAE: GRANDES PROPIETARIAS DE TIERRAS EN LA HISPANIA ROMANA <i>DOMINAE: LEADING LANDOWNERS IN ROMAN HISPANIA</i> <i>Raquel Castelo Ruano y Ana María López Pérez</i>	335-348
A PROPÓSITO DEL NOMBRE DE UN ALFARERO: ¿VLLO, O MEJOR ATTO? <i>REGARDING THE NAME OF A POTTER: VLLO OR COULD IT WELL BE ATTO?</i> <i>María Victoria Romero Carnicero</i>	349-361
EXPERIMENTACIÓN ARQUEOLÓGICA CON LUCERNAS DE ÉPOCA ROMANA: USOS Y FUNCIONALIDAD <i>ARCHAEOLOGICAL EXPERIMENTATION WITH ROMAN TERRACOTTA OIL LAMPS: USES AND FUNCTIONALITY</i> <i>M^a Luisa Ramos Sainz</i>	363-370
EVIDENCIAS DE PINTURA MURAL <i>IN SITU</i> EN LA CASA DE MATERNO (CARRANQUE, TOLEDO). PRIMERA APROXIMACIÓN A SU ESTUDIO <i>IN SITU WALL-PAINTING EVIDENCES FROM CASA DE MATERNO (CARRANQUE, TOLEDO). FIRST APPROACH</i> <i>Virginia García-Entero y Carmen Guiral Pelegrín</i>	371-380
LA CERÁMICA PINTADA TARDOANTIGUA, DE TRADICIÓN INDÍGENA, DOCUMENTADA EN LA VILLA ROMANA DE EL SAUCEDO (TALAVERA LA NUEVA, TOLEDO) <i>LATE ROMAN PAINTED POTTERY, OF INDIGENOUS TRADITION, ATTESTED AT THE HISPANO-ROMAN VILLA OF EL SAUCEDO (TALAVERA LA NUEVA, TOLEDO)</i> <i>Juan Francisco Blanco García, Raquel Castelo Ruano, Ana María López Pérez, Mar Zamora Merchán, Macarena Bustamante, Inmaculada Donate, Manuel Blanco, Cristina Cabello, María Cruz Medina y Ana Isabel Pardo</i>	381-396

<p>INSCRIPCIONES ALTOMEDIEVALES SOBRE UNA BASA ROMANA HALLADA EN EL SECTOR DE PUERTA OBISPO (LEÓN) <i>EARLY MEDIEVAL INSCRIPTIONS ON A ROMAN BASE COLUMN FOUND IN THE ARCHAEOLOGICAL INTERVENTIONS AT PUERTA OBISPO (LEÓN)</i> Ángel Morillo Cerdán y Victorino García Marcos.....</p>	397-404
<p>CANCEL ALTOMEDIEVAL DE LUGO DE LLANERA (ASTURIAS) <i>EARLY MIDDLE AGE CANCEL FROM LUGO DE LLANERA (ASTURIAS)</i> José Avelino Gutiérrez González</p>	405-413
<p>¿PUNTUAL O GRADUAL? UNA REFLEXIÓN ZOOARQUEOLÓGICA SOBRE LA GÉNESIS DEL POZO-DEPÓSITO DE TABACALERA (GIJÓN, ASTURIAS) <i>PUNCTUATED OR GRADUAL? ZOOARCHAEOLOGICAL INSIGHTS ON THE GENESIS OF THE DEPOSITS FROM THE WATER WELL OF TABACALERA (GIJÓN, ASTURIAS)</i> Arturo Morales-Muñiz, Andrea González-Ibáñez, Laura Llorente-Rodríguez y Eufrasia Roselló Izquierdo.....</p>	415-425
<p>LA FASE ALMOHADE DE LA ALCAZABA DE BADAJOZ <i>THE ALMOHAD PERIOD IN THE ALCAZABA OF BADAJOZ</i> Rodrigo Cortés y Fernando Valdés</p>	427-437
<p>VICENTE PAREDES GUILLÉN Y LA VÍA DE LA PLATA. UN ARQUEÓLOGO ADELANTADO A SU TIEMPO <i>VICENTE PAREDES GUILLÉN AND VÍA DE LA PLATA. AN ARCHAEOLOGIST AHEAD OF HIS TIME</i> Rosalía María Durán Cabello y Jesús de la Ascensión Salas Álvarez.....</p>	439-446

Restauración con técnica láser de epígrafes arqueológicos romanos en mármol de Sisapo (La Bienvenida, Almodóvar del Campo, Ciudad Real)

Laser technology for conservation of Roman archaeological marble epigraphs from Sisapo (La Bienvenida, Almodóvar del Campo, Ciudad Real)

Joaquín Barrio Martín^{1,2},
M^a Cruz Medina Sánchez²,
Inmaculada Donate Carretero²,
Ana Isabel Pardo Naranjo¹

Resumen

El trabajo presenta los resultados del proceso de investigación e intervención restauradora realizada en el SECYR mediante técnica láser de un conjunto de epígrafes romanos en mármol de distinta naturaleza compositiva, procedentes del antiguo *municipium* romano de Sisapo (La Bienvenida, Almodóvar del Campo, Ciudad Real). Los problemas de deterioro de los mármoles arqueológicos que han estado enterrados en el suelo durante siglos se caracterizan por los densos paquetes de carbonatos, silicatos, fosfatos y tierras, que llegan a formar costras de una gran dureza. El estudio composicional de este deterioro se ha realizado por Difracción de Rayos X Policristal (DRX-P). Las características de esta película de alteración la hacían imposible de eliminar mediante los tratamientos químicos y mecánicos habituales sin dejar marcas o rayados visibles, y sin que se viese afectada la pátina. En cambio, la aplicación del láser como método de limpieza nos ha permitido obtener unos resultados muy positivos, descubriendo con nitidez la grafía y manteniendo la pátina original de los epígrafes.

Palabras clave: hispanorromano, epígrafe, mármol, láser, restauración, limpieza, DRX.

Abstract

This work presents the results of the research process and restoration intervention by laser technique, undertaken at SECYR, on a group of Roman epigraphs on marble of different compositions, excavated in the Roman *municipium* of Sisapo (La Bienvenida, Almodóvar del Campo, Ciudad Real). The deterioration problems of the archaeological marbles buried in the ground for centuries are characterized by dense clumps of carbonates, silicates, phosphates and dirt, which become crusts of great hardness. Their compositional study was carried out by Polycrystalline X-ray Diffraction (RXD-P). The characteristics of this alteration film made it impossible to remove by means of the usual chemical and mechanical treatments without leaving visible marks or scratches, and without affecting the original patina. However, the application of laser as a cleaning method has allowed us to obtain very positive results; unveiling the ancient graphs, and keeping the original patina of the epigraphs.

Key words: Hispano-Roman, epigraph, marble, laser, conservation, cleaning, XRD.

¹ Departamento de Prehistoria y Arqueología, Universidad Autónoma de Madrid, joaquin.barrio@uam.es, maricruz.medina@uam.es, inmaculada.donate@cultura.gob.es, anaisabel.pardo@uam.es. Inmaculada Donate trabaja en la actualidad en el Insti-

tuto de Patrimonio Cultural de España, Ministerio de Cultura y Deporte.

² Lab.SECYR. Universidad Autónoma de Madrid.

1. INTRODUCCIÓN

La intervención de la restauración con láser de algunos de estos mármoles epigráficos y sus resultados han sido dados a conocer a través de seminarios, cursos, congresos, conferencias de clase, revistas. (Chamón, Barrio y Criado, 2008; Barrio, 2007; Barrio *et al.*, 2009 y 2017) Por eso creemos que ha llegado el momento de hacer una síntesis a modo de revisión de aquellos trabajos, con la perspectiva de presentarles de manera precisa en todos sus pormenores técnicos y metodológicos, incluyendo, además, el resultado de la investigación e intervención de nuevas piezas procedentes de este mismo yacimiento hispanorromano.

También existe una segunda razón, de tipo sentimental y afectivo. La profa. Fernández Ochoa, a quien se homenajea con esta Monografía, lleva vinculada co-dirigiendo las investigaciones de este sitio arqueológico desde el comienzo de sus excavaciones. Asimismo, ella fue quien trajo al Laboratorio de la UAM el primero de los epígrafes, buscando una solución alternativa ante el serio problema de deterioro superficial que impedía su lectura. Una vez comprobada la efectividad del tratamiento, se inició la llegada de nuevas piezas, que han conformado el conjunto que presentamos ahora.

Podemos anotar una tercera razón para desarrollar este trabajo; no ha sido muy habitual dar a conocer a través de la bibliografía la restauración de epígrafes de mármol arqueológicos mediante tecnología Láser. Es posible que se hayan abordado, pero desconocemos el resultado y el proceso seguido. Por ello, más si cabe, creímos necesario llevar adelante este trabajo, con la finalidad implícita de poner de relieve la problemática que presentan algunos materiales inorgánicos realizados en piedra (calizas y mármoles), procedentes de excavaciones arqueológicas. Una singularidad evidente frente a los mármoles que nunca han permanecido enterrados durante largo tiempo en el suelo.

No obstante lo apuntado, la restauración de materiales pétreos de variada naturaleza en edificios históricos mediante las técnicas de ablación Láser, ha sido el campo que ha gozado de una mayor aplicabilidad desde los años 70 del siglo XX (Chevillot y Watelet, 2003). Quizás acredita una experiencia en investigación y ejecución de obra en piedra que supera al conjunto de materiales arqueológicos.

2. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS EPÍGRAFES

Epígrafe 1 (SECYR 2; BV01/1/6/3/4) Medidas: 204x170x40 mms.

El resto de este epígrafe fue recuperado junto los epígrafes 2 y 4 (SECYR 3 y 811 respectivamente) en la campaña de excavaciones de 2001 rellenando como vertido una fosa tardoantigua. Está tallado en un már-

mol blanco; este detalle se ha podido apreciar en uno de los golpes recientes. El estudio epigráfico lo atribuye a una inscripción honorífica, sin descartar que fuese de uso funerario, y se puede restituir a partir del texto conservado el término *municipii Sisaponensis*. Tomando como base el estudio paleográfico, se le atribuye una fechación entre la época Flavia y la Antoniniana (Zarzalejos, Fernández-Ochoa, y Hevia 2011: 36-38)

En este epígrafe la fracturación perimetral era de antiguo, con signos de combustión en el lado derecho. Mostraba un golpe importante en uno de los bordes, y pequeños raspones de escasa entidad sobre la superficie. La conservación general de la pieza era muy buena. Evidenciaba una gran solidez estructural, sin presencia de fisuras ni microfisuras. Sin embargo, sobre la superficie tenía una costra muy espesa en todas sus caras, y especialmente presentaba una capa más gruesa sobre el anverso, que imposibilitaba la lectura de las letras (Fig. 1).



Figura 1. Estado inicial del epígrafe 1 tal como llegó al laboratorio con las áreas donde había comenzado ya su limpieza por procedimientos mecánicos.

Epígrafe 2 (SECYR 3; BV01/1/6/3/5) Medidas: 400x210x43 mms.

Este fragmento de epígrafe fue localizado también en el año 2001 y tiene la misma indicación estratigráfica que el anterior. En este caso el mármol es blanco con un leve veteado en tonos rosáceos y marrones. La fractura principal parece coincidir con la orientación de estas vetas. En este caso el estudio epigráfico le otorga un carácter conmemorativo de “la liberalidad de unos augustales o *seviri augustales* de municipio sisaponense” (Zarzalejos, Fernández-Ochoa y Hevia 2011:36-38; Gimeno 2008). Estos autores le fechan entre mediados y segunda mitad del siglo II d.C. Este epígrafe y el anterior confirman documentalmente la identificación de este yacimiento de La Bienvenida con

la ciudad hispanorromana de Sisapo y su evidente estatus jurídico municipal.

La pieza tiene una fracturación antigua en los dos lados cortos, con algunos pequeños golpes recientes en la zona apuntada, donde se puede observar perfectamente el color original del mármol. El estado del material es muy bueno, sin rastro de meteorización. Sobre la superficie mostraba una costra irregular muy fina de silicatos y carbonatos que rellenaba buena parte del interior de las letras. Las diferencias entre anverso y reverso son apreciables en la costra de alteración. Se observan microfisuras en superficie (Fig. 2)

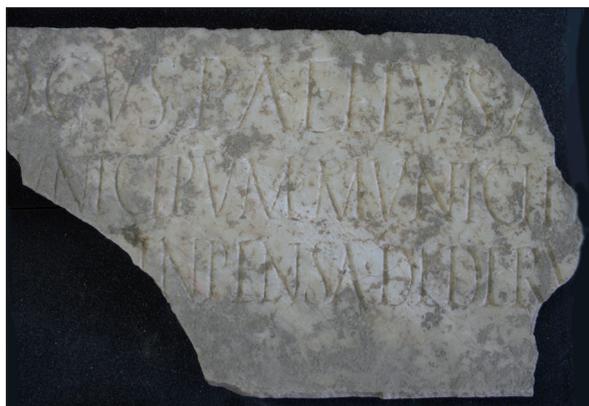


Figura 2. Estado inicial del epígrafe 2 donde se aprecian las costras sobre el mármol.

Epígrafe 3 (SECYR 810; BV01/1/8/2/1) Medidas 117x119x33 mms.

Este fragmento es muy irregular con una fracturación perimetral antigua. Sólo en la superficie y en los bordes tiene algún golpe reciente que permite apreciar el color original y las características del mármol, muy similar al anterior, blanco con presencia de vetas. En la zona inferior quedan huellas de combustión. La capa de alteración estaba formada por una película fina y

uniforme de silicatos y carbonatos mezclados con tierras; en algunos puntos la textura es áspera e irregular (Fig. 3 izquierda)

Epígrafe 4 (SECYR 811; BV01/1/6/3/3) Medidas 124x100x47mms.

El fragmento del epígrafe también muestra fracturación de la época de amortización en la fosa, con algunos pequeños golpes en la zona de fracturas laterales; en superficie sólo tiene marcas finas, poco perceptibles. Esta realizado en un mármol blanco de características similares a los anteriores, pero en este caso no se observan vetas.

La capa de alteración superficial presenta diferencias entre el anverso, y los laterales y el reverso. En el primero, esta película es más fina y menos irregular. En cambio, en el resto de la pieza la textura es mucho más áspera y de mayor espesor la costra. En todos los casos está compuesta por carbonatos, silicatos y tierras oscuras amalgamadas (Fig. 3 derecha)

3. EL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LOS EPÍGRAFES Y EL ANÁLISIS DEL DETERIORO

A partir de la descripción en líneas precedentes se puede hacer una evaluación sintética del estado de conservación y de los elementos de diagnóstico. Se ha llevado a efecto mediante una exhaustiva inspección óptica visual y macro, y la realización de varios análisis mediante técnicas de caracterización de restos de estas costras de alteración.

Se ha de partir del hecho que los problemas de deterioro de los mármoles arqueológicos que han estado enterrados en el suelo durante siglos son muy distintos de aquellos que han permanecido al aire, pues mientras en éstos últimos los productos de deterioro se han for-



Figura 3. Estado inicial de los epígrafes 3 (izquierda) y 4 (derecha).

mado prioritariamente por efecto de la contaminación urbana (costras negras, depósitos sulfatados, ...), en los primeros se trata de paquetes de carbonatos, silicatos, fosfatos y tierras, que llegan a formar costras de una gran dureza, y muy difíciles de eliminar.

Ninguno de los epígrafes estudiados presenta disgregación superficial como suele ser corriente en los mármoles o calizas expuestos al exterior durante mucho tiempo. En nuestras piezas el leve proceso de meteorización desarrollado durante su etapa de “vida” útil, apenas ha suavizado las aristas de las letras y de los perfiles angulosos de los bordes, y sin embargo, de manera muy beneficiosa ha generado una fina y bella pátina que les da un carácter de autenticidad ineludible.

Los epígrafes romanos (incompletos) que aquí se presentan se caracterizaban porque tenían un buen estado de conservación en su estructura, con pocas evidencias de fisuras o microfisuras penetrantes, como resultado de una fracturación muy agresiva o de la presión mecánica en el contenedor. Sin embargo, tenían sobre la superficie de una costra de alteración formada por carbonatos y silicatos, con diferente grado de espesor y regularidad dependiendo de cada uno de ellos. Esta costra, especialmente resistente y muy oscura en los epígrafes 1 y 4, ocultaba no sólo los detalles de la grafía o del mármol, sino la pátina original. (Fig. 4)



Figura 4. Aspecto de la potente costra oscura en el reverso del epígrafe 4.

Para realizar análisis de caracterización de los depósitos de alteración dispusimos de muestras de 3 piezas: epígrafe 1 (SECYR 2), epígrafe 3 (SECYR 810) y epígrafe 4 (SECYR 811). Estos se analizaron con Difracción de Rayos X Policristal², técnica empleada para

la identificación de fases cristalinas, método del polvo cristalino. Nos permite detectar los constituyentes minerales de la muestra que se encuentran en cantidades superiores al 3% del peso de la muestra.

A través de las gráficas de DRX, se confirma que hay presencia de costra de carbonatos que incluye granos de cuarzo, mica y feldespato procedentes de las tierras. En cuanto a la detección mínima de hidroxilapatita, esta sal podría estar relacionada con la presencia de fosfato en las tierras del enterramiento o de contacto con huesos. La detección de dolomita en el SECYR 811 tendría que ver con la propia composición de ese mármol. (Figs. 5 y 6)

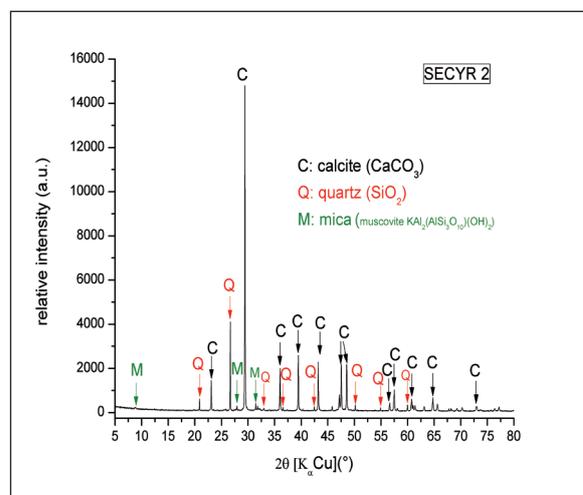


Figura 5. Espectro de DRX-P de los depósitos carbonatados sobre el epígrafe 1.

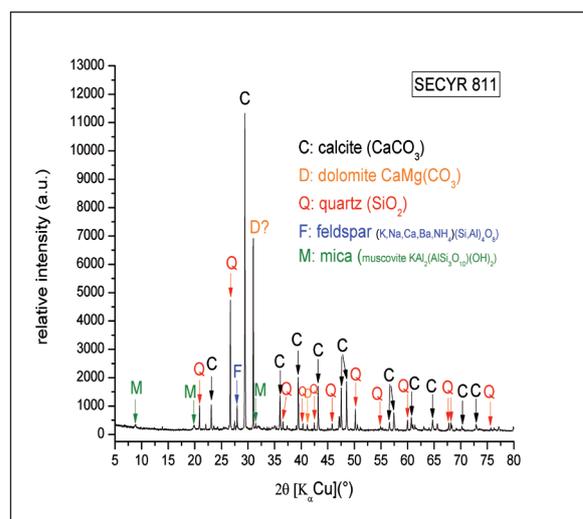


Figura 6. Espectro de DRX-P de la superficie del epígrafe 4.

² El equipo de DRX-P pertenecen a los laboratorios del Servicio Interdepartamental de Investigación (SIDI) de la Universidad Autónoma de Madrid. Para la identificación de las fases cristalinas se ha utilizado la base de datos libre online: American Mi-

neralogist Crystal Structure Database (The RUFF Project) y bibliografía especializada. Downs, R. T. *The RUFF Project: an integrated study of the chemistry, crystallography, Raman and infrared spectroscopy of minerals.*, in Program and Abstracts of the 19th General Meeting of the International Mineralogical Association in Kobe, Japan, 2006: 03–13.

4. LA METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE TRABAJO.

LA APORTACIÓN DEL LÁSER

Las pocas experiencias conocidas a nivel nacional e internacional en mármoles recuperados en contextos de enterramiento arqueológico hacían pensar que la metodología de trabajo con Láser era la adecuada (Ganeev, 2014).

Las posibilidades del láser IR a través del empleo de los equipos SFR y LQS (con diferente duración de pulso) permitieron abordar con éxito una restauración de gran complejidad. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que esta tecnología es idónea para resolver de manera eficiente la grave problemática de los mármoles arqueológicos cubiertos por gruesas y resistentes costras de alteración, con el objetivo final de hacer posible la legibilidad más precisa de las inscripciones y la mejor conservación de su pátina de origen.

Las características de esta película de alteración la hacían imposible de eliminar mediante los tratamientos químicos y mecánicos habituales sin dejar marcas o rayados visibles. El epígrafe 1 de La Bienvenida nos había llegado después de que sobre él ya se habían probado estos procedimientos mecánicos sin obtener resultado positivo en eliminación de la costra cubriente; incluso se había intentado desprender la costra con pequeños golpes de “cincel”, cuyas marcas eran evidentes. Pensamos que en este caso era una buena opción investigar las posibilidades de la desincrustación de esta película mediante Láser, como se venía haciendo en los mármoles de construcciones históricas, aunque las características compositivas y estructurales de esa capa fueran muy diferentes. En algunos trabajos de síntesis (Groux, 1999) se hacía un repaso de las actuaciones a lo largo de ese decenio y una valoración positiva con tecnología Láser en numerosos edificios religiosos o civiles de primer nivel a lo largo de Europa.

Mientras que, en la restauración con Láser de elementos pétreos en edificios u obras ubicadas al exterior, en atmósferas urbanas, se tenía una experiencia dilatada desde los años 80 y muy consolidada en los 90, el trabajo con esta técnica en objetos de mármol llegados directamente de excavaciones arqueológicas de campo ha sido y es muy reducido. En España el Centro de Conservación y Restauración de BBCC de Castilla y León, es el que ha realizado algunas restauraciones que constituyen un precedente comparativo valioso sobre el que asentar esta investigación. En este Centro se había abordado con buenos resultados, entre otros, la restauración de esculturas romanas de mármol, algunos capiteles romanos y románicos, una pilastra y tenante de altar visigodos, elementos de una jamba de puerta policromada sobre estuco, etc. (Pérez de Andrés, 1999: 270-280; Escudero, Barrera y Pérez, 2002). En estos trabajos se destacan las posibilidades de esta técnica para mejorar las opciones de restauración de obras de piedra de procedencia arqueológica, con serios problemas de deterioro. Así mismo, ponen

de manifiesto la singularidad que tienen las intervenciones de estos bienes pétreos frente a los radicados en medios urbanos.

Con el fin de justificar la elección que se hizo en 2007 y 2017 de esta técnica para abordar la restauración de los epígrafes romanos referidos, es necesario anotar cuáles son las ventajas que tiene el trabajo con láser frente a otras técnicas de limpieza en objetos pétreos de procedencia arqueológica:

- Frente a las limpiezas mecánicas manuales no deja marcas, ni rayados ni picaduras que condicionan la estética de la pátina original de las piezas.
- Frente a la limpieza mecánica asistida con microchorro, el láser no genera una abrasión diferencial en las partes con relieves o motivos delicados, como sucede al hacer una limpieza con esta técnica abrasiva. Además, se evita la emisión de polvo.
- Frente a las limpiezas químicas, única alternativa hasta ahora en la restauración de piezas que presentan costras cubrientes de gran resistencia, permite prescindir de estas disoluciones agresivas (ácidos nítrico, clorhídrico o fluorhídrico), de control muy difícil y lesivas para las pátinas originales. A causa de limpiezas de este tipo han desaparecido las pátinas y numerosos restos de policromías de esculturas arqueológicas intervenidas desde los años 1950/1960.
- Evita, además, en obras hechas habitualmente en materiales muy porosos (calizas, areniscas,), que estos productos químicos que presentan una difícil eliminación completa de su interior, queden residuales y generen problemas de deterioro en el futuro, debido a una insuficiente neutralización.
- Frente a ambos métodos de limpieza, el láser permite mantener la denominada capa epigénica, que en muchos mármoles o calizas antiguas estaba formada por engobes de base cálcica sobre los que después se policromaba (Vergés-Belmin *et al.*, 1993; Chevillot y Watelet, 2003).
- Permite la eliminación capas de ceras, barnices o consolidantes que el paso del tiempo ha degradado, sin que sea necesaria la utilización de disolventes tóxicos.
- Selectividad en la eliminación de los productos, permitiendo regular estratigráficamente la limpieza de películas de escasa homogeneidad y de espesor variable; hace posible un control a nivel micrométrico de la eliminación de estas capas.
- Consigue una necesaria flexibilidad en los niveles de limpieza que se quieren obtener en una pieza, donde no toda la superficie debe ser tratada homogéneamente, en consonancia con lo indicado por principios más actuales de la restauración (Laborde, 2013). Se evita, por tanto, ese efecto tan irreal y falso de uniformidad cromática que se derivaba de las limpiezas químicas o con chorro de arena sobre un mármol.

La limpieza de estos epígrafes se ha efectuado con los dos equipos Láser Nd:YAG ($\lambda=1064$ nm), marca EL.EN del Servicio de Conservación, Restauración y Estudios Científicos del Patrimonio Arqueológico de la UAM: un EOS 1000 Short Free Running (SFR) con una duración de pulso de 60 a 120 μ s, y un Long Q-Switched (LQS), cuya duración de pulso es de 120 a 300 ns.

Partiendo de estas premisas, con los equipos Láser antes citados, se realizó la intervención en los epígrafes de Sisapo. El criterio de restauración era eliminar las concreciones cubrientes de la superficie, permitiendo una legibilidad completa, sin provocar el más mínimo daño, y preservando la pátina original de cada uno de ellos.

La existencia de pátinas sobre las superficies pétreas es bien conocido e investigado desde hace años, especialmente en el mármol (Matteini y Moles, 1986), y suele contribuir a la conservación del material pétreo; por ello se debe de evitar su eliminación indiscriminada en los procesos de limpieza y fomentar su conservación y protección. Sólo conservando la pátina el objeto antiguo mantiene su plena autenticidad. Y éste es un criterio de actuación imprescindible en la restauración actual.

Se siguió un protocolo de trabajo que era conocido, al menos en sus líneas generales, en las investigaciones sobre los mármoles históricos. No obstante, siempre se realiza una pequeña cata/prueba para valorar la acción del láser en cada una de las piezas, en anverso y reverso, en especial cuando el mármol presenta algunas vetas de diferente coloración. Se hace un seguimiento preciso visual y con microscopía óptica durante la limpieza de la superficie de cada pieza de mármol.

Antes de aplicar el láser, se impregnó la superficie de los epígrafes con agua desionizada con un doble propósito: por un lado, saturar el color y favorecer la ablación, por otro lado, minimizar el efecto térmico producido por el haz láser y aumentar el efecto mecánico. Se consiguió la retirada por eyección de la costra de carbonatos y silicatos con ciertas dificultades dependiendo del epígrafe. Extremamos el cuidado en el mantenimiento de la pátina original, su auténtica



Figura 7. Proceso de limpieza con láser sobre el epígrafe 2.

epidermis, especialmente la que se había formado en el cajeado de cada una de las letras grabadas sobre las placas de mármol (Figs. 7 y 8).

5. RESULTADOS OBTENIDOS

Para trabajar con los epígrafes 1 y 2 de La Bienvenida en 2007 se empleó el láser SFR, eligiendo la siguiente banda de parámetros: Energía 0,7-1 J; Spot 5mm; Frecuencia 4-6 Hz y una Fluencia entre 3,6 -5,1J/cm². El efecto más positivo se obtuvo en el rango de Fluencia de 4.1 J/cm². En 2017, con el fin de eliminar los restos de costra, la nueva intervención se hizo variando el Spot obteniendo una Fluencia entre 45 y 56 J/cm². El resultado en el epígrafe 1 fue muy bueno consiguiendo, mediante varias pasadas, eyectar la potente costra oscura sin dañar la pátina. No se realizó una limpieza excesiva aun a costa de dejar algunos restos de la película, con el objetivo de evitar el color de corte fresco que tiene el mármol.

En la pieza 2 después de la primera limpieza se aprecian las huellas de la costra eliminada en la superficie decorada, puesto que tampoco se eliminó al máximo. Esas marcas de tono más oscuro que la propia pátina no molestan para la correcta lectura del epígrafe, pero se confunden con la veta de la piedra. Para mejorar el trabajo, en la segunda fase de limpieza en 2017 realizamos pruebas sobre esas marcas oscuras con los dos láseres, SFR y LQS. Comprobamos que el SFR modifica el color y lo vira hacia un gris claro; en cambio, el LQS solo lo aclara, respetando el color y consiguiendo un acabado más uniforme e igualando el tono (Fig. 9).

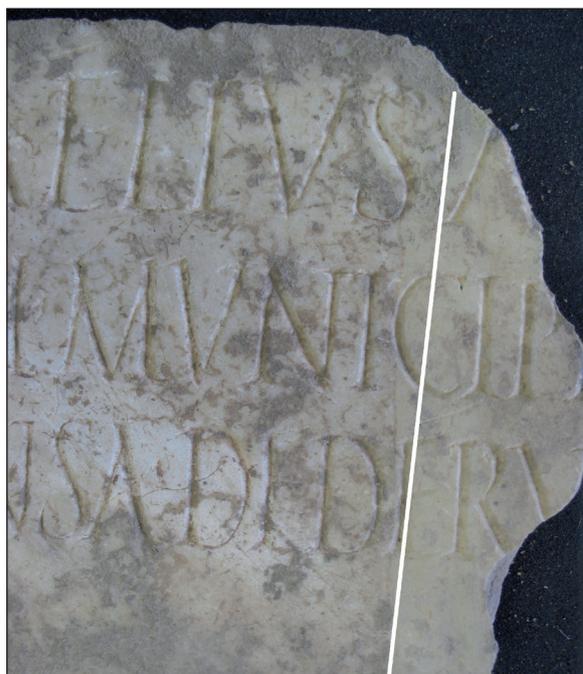


Figura 8. Evolución de la limpieza en el epígrafe 2, se aprecia a la derecha la zona ya intervenida con SFR.

Epígrafe	Año	Zona del epígrafe	Láser	Energía (mJ)	Frecuencia (Hz)	Spot (mm)	Fluencia (J/cm ²)	Efecto
1 (SECYR 2)	2007	Anverso	SFR	1000	10	5	5,1	Sí
1 (SECYR 2)	2017	Anverso: restos dejados por el SFR	SFR	1000	10	1,5	56	Sí
1 (SECYR 2)	2007	Reverso	SFR	800	10	5	4,1	Sí
1 (SECYR 2)	2017	Anverso: restos dejados por el SFR	SFR	800	10	1,5	45	Sí
2 (SECYR 3)	2007	Anverso	SFR	1000	10	5	5,1	Sí
2 (SECYR 3)	2007	Reverso	SFR	800	10	5	4,1	Sí
2 (SECYR 3)	2017	Anverso: restos dejados por el SFR	SFR	600	10	1,5	34	No
2 (SECYR 3)	2017	Anverso: restos dejados por el SFR	LQS	380	10	1,5	21,6	Sí

Figura 9. Tabla con los parámetros aplicados en la limpieza láser a los epígrafes 1 y 2.

Epígrafe	Año	Zona del epígrafe	Láser	Energía (mJ)	Frecuencia (Hz)	Spot (mm)	Fluencia (J/cm ²)	Efecto
3 (SECYR 810)	2017	Anverso	SFR	600	10	1,5	34	Sí
3 (SECYR 810)	2017	Anverso: veta negra	SFR	600	10	1,5	34	No
3 (SECYR 810)	2017	Anverso: veta negra	SFR	800	10	1,5	45	Velo gris
3 (SECYR 810)	2017	Reverso: costra más delgada	SFR	800-1000	10	1,5	45-56	Sí
3 (SECYR 810)	2017	Anverso: restos dejados por el SFR	LQS	250	10	1,5	14,2	Sí
3 (SECYR 810)	2017	Reverso: costra más delgada	LQS	380	10	1,5	21,6	Sí

Figura 10. Tabla con los parámetros aplicados en la limpieza láser al epígrafe 3.

En cuanto al epígrafe 3, que no había sido tratado previamente, quisimos constatar el efecto de limpieza con ambos láseres. La prueba inicial con SFR empleando los mismos parámetros básicos de 2007, resultó efectiva para eliminar la mayoría de las costras. La excepción era una zona negra que parece una veta de la propia piedra y que no debía ser eliminada. Las pruebas con LQS, no fueron tan buenas en la eliminación de las costras de mayor espesor. Por ello se decidió utilizar el láser SFR para limpiar el anverso y el reverso de la pieza, aumentando en éste la Energía entre 800 y 1000 mJ. También en este epígrafe se hizo la pasada final con LQS, que matizó la superficie, dejándola más homogénea (Fig. 10).

El trabajo en el epígrafe 4 se inició con la misma metodología y en aplicando las mismas condiciones

que en el epígrafe 3. El resultado con SFR fue positivo en anverso y en reverso, sin dañar la pátina. Finalmente, la aplicación del LQS matizó más los restos no eliminados con el SFR, adquiriendo un tono más claro que pasa desapercibido con el fondo, manteniendo la pátina original intacta.

El resultado general que puede apreciarse a través de las imágenes recogidas del proceso de intervención con Láser de estos epígrafes, permite valorar de manera muy positiva su restauración que, más allá de los aspectos técnicos, ha hecho posible la recuperación plena de los contenidos estéticos y arqueohistóricos de estas piezas epigráficas, facilitando así su estudio con todo detalle y, si se considerase necesario, su exposición al público (Figs. 11, 12 y 13).



Figura 11. Estado final de la superficie del epigrafe 1.

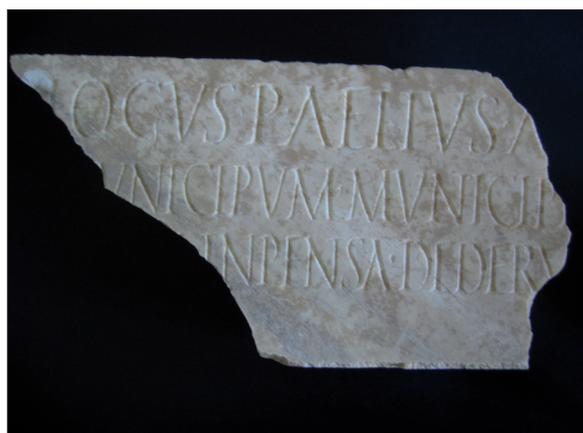


Figura 12. Estado final de la superficie del epigrafe 2.



Figura 13. Estado final de la superficie de los epigrafes 3 y 4.

Con los protocolos que hemos establecido en el SECYR los dos láseres Nd:YAG 1064nm, SFR y LQS, realizan un trabajo muy efectivo, eliminando los depósitos sin dañar la superficie original y evitando el uso de disoluciones químicas. Con SFR se eliminan mejor las costras potentes; la energía se sube en función del grosor del depósito. En el anverso de las piezas con una Fluencia de 34 J/cm² es suficiente. En zonas con la costra más gruesa es necesario subir la Fluencia a 39-56 J/cm². En cambio, si la costra es fina funciona mejor el LQS, que también se emplea para matizar la película grisácea que deja el SFR, ajustando la Fluencia a 21,6 J/cm².

A pesar de que nuestras experiencias en la restauración con láser de mármol han sido muy positivas, siguen existiendo problemas que investigar que han sido puestos de relieve, sobre todo el referido a los efectos del ligero amarilleamiento que adquiere con el tiempo la superficie tratada con equipos láser de emisión IR, como son los del SECYR. Y así sucedía en el epigrafe 1. En principio este tono amarillento que adquiriría la pátina de los mármoles blancos se venía atribuyendo

a diversas causas: transformación del mármol, redepósitos de nuevos productos a partir de los existentes en la costra, presencia de residuos sobre la superficie original que no se han eliminado, efectos de la nueva dispersión de la luz en la superficie, ... (Matteini y Molas, 1986; Klein *et al.*, 2001; Zafropoulos *et al.*, 2003). Para ciertos autores, los datos objetivos de la analítica llevan a atribuir este problema de amarilleamiento superficial a depósitos que no han sido eliminados mediante el tipo de láser utilizado (Pouli *et al.*, 2006).

Esta ligera desventaja se ha venido aceptando en la restauración de piezas delicadas compensando con los riesgos que supone el uso de otras técnicas más agresivas, como las mecánicas o las químicas. En el momento presente la solución que se ha encontrado es sencilla, y consiste en realizar una pasada muy superficial de la pieza con un láser que emita en UV a 355nm, eliminando esos depósitos tan finos que han permanecido sin poder ser retirados en la primera de las limpiezas con láser IR. Las experiencias llevadas a cabo en las restauraciones efectuadas en los mármoles del Partenón, y la evolución que han tenido a lo largo de estos años,

hacen pensar que esta solución está en el buen camino (Maravelaki-Kalaitzaki *et al.*, 2003; Pouli *et al.*, 2005; Frantzikinaki *et al.*, 2007).

6. CONCLUSIONES: UNA PERSPECTIVA DE FUTURO

Teniendo en cuenta la experiencia con estos epígrafes y las posibilidades de la técnica Láser, parece obligado abrir unas perspectivas de futuro para la aplicación de esta técnica en la restauración de mármoles arqueológicos afectados por costras cubrientes de carbonatos, silicatos y tierras.

Es muy necesaria la caracterización de las potentes y diferentes costras de productos de alteración que se presentan sobre el mármol mediante técnicas de DRX, RAMAN, LIBS,... Con esta última técnica se puede diagnosticar *in situ* la microestratigrafía de estas costras en profundidad. En cuanto al análisis de DRX puede realizarse a partir de las eyecciones generadas por el láser o pequeños desprendimientos.

Se debe de reconocer y registrar mediante análisis la posible existencia de una pátina artificial o de restos de policromía, habituales en los mármoles antiguos. Comprobar si esta pátina o película artificial sufre daños y de qué manera se pueden proteger, ya que su conservación es imprescindible. Uno de los mayores errores de restauración cometidos durante muchos años ha sido la eliminación de los restos de estas capas que nos habían llegado bajo las costras de alteración.

Conviene ampliar la investigación sobre los mármoles que presenten vetas de colores distintos para calibrar con mayor precisión la respuesta del láser ante cada uno de ellos, mejorando el ajuste de los parámetros de trabajo.

En la medida de las posibilidades, se debe realizar una mejor comprobación de los resultados utilizando láseres de distinta emisión, sobre todo cuando son objetos que no han estado afectados por la contaminación ambiental.

En definitiva, la restauración de este conjunto de epígrafes de mármol de Sisapo, nos ha enseñado que la comprensión de fenómenos inducidos por láser debe llevarnos a una nueva evaluación en una perspectiva más crítica de los efectos inducidos por cada método de restauración. La elección de la metodología, la técnica y el protocolo a seguir en cada caso (microabrasión, química, disolución, o láser) puede determinar marcadas diferencias en el aspecto final de una pieza; incluso puede plantearse hacer una metodología combinatoria de varias técnicas, optimizando las aportaciones de cada una ellas.

Finalmente, no debe olvidarse que cualquier restauración es, y en el caso de los epígrafes más si cabe dado su importante valor documental, ante todo una intervención histórica que modifica el aspecto de una pieza desde su situación anterior. Para garantizar al máximo este proceso, no sólo se debe de actuar con prudencia

tomando las mejores decisiones, sino que se debe apoyar la acción restauradora en unos estudios analíticos que permitan la evaluación de la intervención en la pieza arqueológica.

AGRADECIMIENTOS

A las profesoras Carmen Fernández Ochoa y Mar Zarzalejos Prieto, directoras del Proyecto Sisapo. A J. Chamón y M. Arroyo por su participación en el año 2006 en la restauración del epígrafe 1, y a E. Catalán por la intervención en 2007 del epígrafe 2. A Noemí González Díaz técnico de Lab de DRX del SIDI-UAM.

BIBLIOGRAFÍA

- Barrio, J. (2007): "Innovación Tecnológica y conservación & restauración del Patrimonio Arqueológico Mueble". En Barbero Encinas, J.C. (ed.): *Actas del II Seminario sobre Restauración de Bienes Culturales: Aportaciones teóricas y experimentales en problemas de conservación*. Sta. María de Aguilar de Campoo, 19-21 julio 2006. Editorial. Fundación Sta. María la Real: 33-60.
- Barrio, J., Catalán, E., Chamón, J., y Pardo, A.I. (2009): "Técnica láser aplicada a la restauración de epígrafes". Póster presentado en el Congreso *Marmora romanos en Hispania*, Carranque (Toledo), 5-7 de marzo de 2009.
- Barrio, J. Medina, M^aC. Donate, I. Muñoz, M. y Pardo, A.I. (2017): "Conservation of archaeological epigraphs on marble with laser technique". *3rd International Congress Science and Technology for the Conservation of Cultural Heritage*. Cádiz, 21-24 de mayo de 2017.
- Ganeev, R. A. (2014): *Laser-Surface Interactions*. Cap. 4. Laser Cleaning of Art. 4.2. Laser cleaning of the stones. Springer.
- Chamón, J; Barrio, J. y Criado, A. (2008): "El láser de ablación como herramienta de limpieza en el Patrimonio Arqueológico". *Anales de Química*, 104 (4): 265-269.
- Chevillot, C. y Watelet, S. (2003): "Laser cleaning in French museums: towards instating a methodology", *Journal of Cultural Heritage*, 4: 27-32.
- Escudero, C., Barrera, M., y Pérez, C. (2002): "Studies and preservation techniques in monuments: the use of laser as a cleaning device". En Galán y Zezza (eds.): *Protection and Conservation of the Cultural Heritage of the Mediterranean Cities*: 299-305.
- Frantzikinaki, K., Panou, A., Vasiliadis, C., Papakonsantinou, E., Pouli, P., Ditsa, T., Zafriropulos, V. y Fotakis, C. (2007): "The Cleaning of the Parthenon West Frieze by Means of Combined IR- and UV-Radiation". En Nimmrichter, J., Kautek, W. y Schreiner, M. (eds.): *Lasers in the Conservation of*

- Artworks*, Viena, Austria, Sept. 21–25, 2005. *LACONA VI*, Springer Proceedings Physics, 2007, Volume 116 (2): 97-104.
- Gimeno, E. (2008): “Paisajes epigráficos en el espacio romano de la Comunidad de Castilla-La Mancha”. En G. Carrasco (ed.): *La romanización en el territorio de Castilla-La Mancha*. Cuenca: 261-338.
- Groux, D. (1999): “El láser y sus características. Un ejemplo: Notre Dame La Grande de Poitiers”. En Rivera et al. (eds.): *Patrimonio, restauración y nuevas tecnologías*, PPU, Universidad de Valladolid/IEA. Valladolid: 227-233.
- Klein, S., Fekrsanati, F., Hildenhagen, J., Dickmann, K., Uphoff, H., Marakis, Y., Zafropoulos, V. (2001): “Discoloration of marble during laser cleaning by Nd:YAG laser wavelengths”. *Applied Surface Science*, 171 (3): 242-251.
- Laborde, A. (ed.) (2013): *Proyecto COREMANS: “Criterios de intervención en materiales pétreos”*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Subdirección General de Documentación y Publicaciones. Madrid.
- Maravelaki-Kalaitzaki, P. Zafropoulos, V. Pouli, P. Anglos, D. Balas, C. Salimbeni, R. Siano, S. y Pini, R. (2003): “Short free running Nd:YAG laser to clean different encrustations on Pentelic marble: procedure and evaluation of the effects”. *Journal of Cultural Heritage*, 4: 77-82.
- Matteini, M. y Moles, A. (1986): “Le patine di ossalato di calcio sui manufatti in marmo”. *OPD Restauro-Restauro del Marmo/Opere e problemi*: 65-73.
- Pérez de Andrés, C. (Coord.) (1999): *Catálogo de obras restauradas (1995-1998)*. Centro de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Castilla y León. Consejería de Educación y Cultura. Junta de Castilla y León. Valladolid.
- Pouli, P., Frantzikinaki, K., Papakosntantino, E., Zafropoulos, V. y Fotakis, C. (2005): “Pollution encrustation removal by means of combined ultraviolet & infrared laser radiation: the application of this innovative methodology on the surface of the Parthenon West Frieze”. *LACONA V Proceedings (100)*: 133-140.
- Pouli, P., Totou, G., Fotakis, C., Gaspard, S. Oujja, M., Castillejo, M. y Domingo, C. (2006): “A comprehensive study on the discoloration associated with laser cleaning of stonework”. En Fort, R. et al. (eds.): *Heritage, Weathering and Conservation*, Proceedings of the Int. Conference. Edit. Taylor&Francis Group. London: 687-692.
- Vergès-Belmin, V, Pichot, C. y Orial, G. (1993): “Elimination de croûtes noires sur marbre et craie: à quel niveau arrêter le nettoyage?”. *Proceedings of the International RILEM/UNESCO Congress, Conservation of Stone and Other Materials*. Paris, vol. 2, June 29–July 1, 1993: 534–541.
- Zafropoulos V., Balas, C., Manousaki, A., Marakis, Y., Maravelaki-Kalaitzaki, P., Melesanaki, K., Pouli, P., Stratoudaki T., Klein, S., Hildenhagen, J., Dickmann, K., Luk’ Yanchuk, B., Mujat, C. y Dogariu, A. (2003): “Yellowing effect and discoloration of pigments: experimental and theoretical studies”. *Journal of Cultural Heritage*, 4 (1): 249-256.
- Zarzalejos, M.; Fernández-Ochoa, C. y Hevia, P. (2011): *Investigaciones arqueológicas en Sisapo, capital del cinabrio hispano (I). La decoración musivaria de la domus de las Columnas Rojas (La Bienvenida, Almodóvar de Campo. Ciudad Real. Artes y Humanidades. UNED. Madrid.*