

# RED TEMÁTICA del CSIC PATRIMONIO HISTÓRICO Y CULTURAL

5ª Reunión

## Técnicas para la Caracterización del Patrimonio

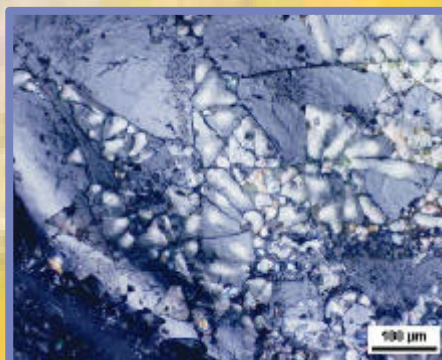
INSTITUTO DE QUÍMICA FÍSICA "ROCASOLANO",  
CSIC

Madrid 27 de Mayo de 2004

1



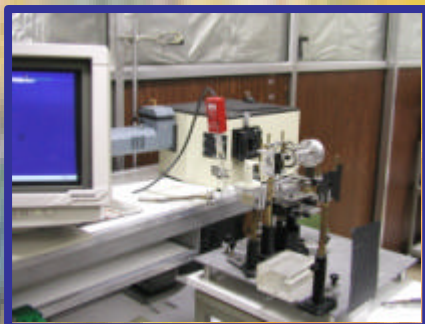
3



5



2



4





# RED TEMÁTICA del CSIC PATRIMONIO HISTÓRICO Y CULTURAL 5ª Reunión



## Comité Científico:

Felipe Criado, Concepción Domingo,  
Rafael Fort, Ignacio Montero,  
Cesáreo Sáiz-Jiménez y M. Ángeles Villegas

## Comité organizador:

Marta Castillejo, María Jadraque,  
Sonia Murcia-Mascarós, Mohamed Oujja,  
Esther Rebollar. Antonio Rubinos

## Organiza:

Instituto de Química Física Rocasolano, CSIC  
Serrano 119, 28006 Madrid  
Teléfono: 91 5619400 Fax: 91 5642431  
Correo electrónico: [rtphc@iqfr.csic.es](mailto:rtphc@iqfr.csic.es)  
<http://www.iqfr.csic.es>

## Figuras

1. Escultura en piedra y cerámica pintada de época ibérica, <http://www.ih.csic.es>
2. Sistema LIBS (*Laser Induced Breakdown Spectroscopy*), Instituto Rocasolano, CSIC.
3. Imagen de microscopía óptica de la superficie de un vidrio expuesto a una atmósfera ácida simulada (cortesía M. García-Heras, CENIM, CSIC).
4. Pazo de San Miguel das Peñas, Monterroso, Lugo, <http://www.wmf.org/a/watchlist.htm>
5. Remache de la empuñadura de una daga Minoica, isla de Pseria, Creta, s. XVI a.C. El análisis LIBS revela trazas de recubrimiento de plata, <http://www.smalltimes.com>

Imagen de fondo, <http://www.artlex.com>



## INTRODUCCIÓN

La conservación de bienes del Patrimonio Cultural (obras de arte o elementos de interés histórico y cultural) permite garantizar la disponibilidad de valiosas fuentes de información sobre la historia y la civilización. El análisis y la caracterización de los elementos de tipo artístico, cultural e histórico que contienen tales bienes requiere un esfuerzo interdisciplinar y sistemático. Dicha caracterización, que contempla aspectos que incluyen la adscripción histórico-cultural, la situación patrimonial, la definición físico-formal, así como el análisis del soporte material y las herramientas tecnológicas subyacentes, es además esencial para la definición de estrategias adecuadas de conservación y restauración.

El tema central de la 5ª Reunión de la Red Temática del CSIC Patrimonio Histórico y Cultural (RTPHC), "Técnicas para la caracterización del Patrimonio", ilustra el carácter multidisciplinar de esta Red. La primera parte de la Reunión se articulará en presentaciones orales de los jóvenes investigadores adscritos a la Red (becarios y contratados pre y postdoctorales) además de una sección de carteles. La Conferencia Invitada, a cargo del Dr. D. Anglos, de la *Foundation for Research and Technology* de Grecia, ofrecerá una perspectiva de los beneficios de la interacción de las ciencias físico-químicas con la arqueología y la historia, y mostrará avances recientes en técnicas analíticas e instrumentación utilizando metodologías ópticas avanzadas. En la segunda parte se desarrollará la Reunión de miembros de la RTPHC, incluyendo presentaciones breves de los nuevos grupos admitidos.

## PROGRAMA

- 09:00-09:15 Entrega de documentación.
- 09:15-09:30 Bienvenida (Margarita Martín, Directora del Instituto Rocasolano) e inauguración (Cesáreo Sáiz, Coordinador RTPHC).
- 09:30-10:30 Conferencia invitada: "Photons for Art's Sake", Demetrios Anglos, *Institute for Electronic Structure and Laser*, FoRTH, Grecia.
- 10:30-11:00 Café.
- 11:00-13:00 Exposición oral de trabajos.
- 13:00-15:00 Comida de trabajo.
- 15:00-17:00 Discusión de carteles.
- 17:00-19:00 Reunión de miembros de la RTPHC con presentación de nuevos grupos admitidos.
- 19:00 Clausura de la Reunión.
- 19.00-20.30 Encuentro del Nodo de Arqueología de la RTPHC.



## RELACIÓN DE TRABAJOS

### Presentaciones orales

**01** ARQUEOLOGÍA DE LA ARQUITECTURA Y ANALÍTICA. APLICACIÓN DE ANÁLISIS ARQUEOMÉTRICOS A PARTIR DE LA EXPERIENCIA DE LA ARQUEOLOGÍA DE LA ARQUITECTURA

F. Arce Sainz y M. A. Utrero Agudo, *Instituto de Historia de Madrid, CSIC, Madrid*

**02** APLICACIÓN DE NUEVOS MÉTODOS PARA EL ESTUDIO DE LA MICROBIOLOGÍA DE LA CUEVA DE ALTAMIRA

J. M. González; L. Laiz; M. C. Portillo y C. Sáiz, *Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, CSIC, Sevilla*

**03** TRATAMIENTO DE SEÑALES ULTRASÓNICAS PARA EL ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN DE ROCAS POROSAS: IGLESIA DE SAN BARTOLOMÉ, JÁVEA (ALICANTE)

J. Martínez-Martínez<sup>1,2</sup>; D. Benavente<sup>1,2</sup> y M.A. García de Cura<sup>1,3</sup>, <sup>1</sup>Laboratorio de Petrología Aplicada, Unidad Asociada CSIC-Universidad de Alicante, Alicante, <sup>2</sup>Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Universidad de Alicante, Alicante, <sup>3</sup>Instituto de Geología Económica, CSIC-UCM, Madrid

**04** TÉCNICAS MICROSCÓPICAS EN LA EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE GRANITOS POR ACCIÓN DEL FUEGO

M.J. Varas; M. Gómez-Heras; M. Álvarez de Buergo y R. Fort, *Instituto de Geología Económica, CSIC-UCM, Madrid*

**05** TÉCNICAS DE ANÁLISIS EN EL ESTUDIO DE METALES ANTIGUOS: PASADO Y PRESENTE DE LA INVESTIGACIÓN ARQUEOMETALÚRGICA,

I. Montero Ruiz y E. López-Romero González de la Aleja, *Instituto de Historia, CSIC, Madrid*

**06** TÉCNICA LIBS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA CORROSIÓN DE VIDRIOS

N. Carmona<sup>1</sup>; M. Oujja<sup>2</sup>; E. Rebollar<sup>2</sup>; H. Rörmich<sup>1</sup> y M. Castillejo<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Fraunhofer-Institut für Silicatforschung-ISC, Bronnbach Branch, Wertheim (Alemania), <sup>2</sup>Instituto de Química Física Rocasolano, CSIC, Madrid

**07** ANÁLISIS NO DESTRUCTIVO DE VIDRIERAS DE LA CATEDRAL DE ÁVILA MEDIANTE ESPECTROSCOPIA MICRORAMAN MAPPING Y CONFOCAL

S. Murcia-Mascarós<sup>1</sup>; C. Domingo<sup>1</sup>; A. Muñoz Ruiz<sup>2</sup>; S. Sánchez Cortés<sup>1</sup> y J. V. García-Ramos<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, Madrid, <sup>2</sup>Vetraria Muñoz de Pablos, S.L., Segovia

**08** CARACTERIZACIÓN DE LA COLECCIÓN DE MANUSCRITOS ÁRABES DE LA ABADÍA DEL SACROMONTE DE GRANADA

A. Durán<sup>1</sup>; T. Espejo<sup>2</sup>; A. López<sup>2</sup>; M. B. Sigüenza<sup>1</sup>; M. C. Jiménez<sup>1</sup>; A. Justo<sup>1</sup> y J. Luis Pérez-Rodríguez<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Instituto de Ciencia de los Materiales de Sevilla, CSIC, Sevilla, <sup>2</sup>Facultad de Bellas Artes, Universidad de Granada, Granada

### Carteles

#### Arqueología y Prehistoria

**C1** TÉCNICAS DE DOCUMENTACIÓN GRÁFICA PARA EL ESTUDIO DE LA EDIFICIA HISTÓRICA. LA RECTIFICACIÓN FOTOGRÁFICA COMO INSTRUMENTO PARA EL ANÁLISIS ARQUEOLÓGICO

A. Pizzo, *Instituto de Arqueología de Mérida, CSIC, Mérida*

**C2** INVESTIGACIÓN APLICADA A LA CONSERVACIÓN DEL ARTE PREHISTÓRICO EN CAVIDADES KÁRSTICAS: LA CUEVA DE ALTAMIRA

S. Sánchez-Moral<sup>1</sup>; S. Cuezva<sup>1</sup>; J.C. Cañaveras<sup>2</sup>; J. Lario<sup>3</sup> y V. Soler<sup>4</sup>, <sup>1</sup>Departamento de Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid, <sup>2</sup>Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad Alicante.



CSIC-UA, Alicante, <sup>3</sup> Departamento de Ingeniería Geológica y Minera, Fac. C. del Medio Ambiente, UCLM, Toledo, <sup>4</sup> Instituto de Productos Naturales y Agrobiología, CSIC, Tenerife

**C3 AISLAMIENTO DE DOS NUEVAS ESPECIES DE AGROMYCES DE GROTTA DEI CERVI, PORTO BADISCO, ITALIA**

V. Jurado; L. Laiz; J. M. González y C. Sáiz Jiménez, *Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, CSIC, Sevilla*

**Paisajes, monumentos**

**C4 EL VALLE SALADO DE SALINAS DE AÑANA (ÁLAVA)**

A. Plata Montero, *Unidad Asociada CSIC-UPV/EHU, GATMAA, Grupo de Arqueología Tardoantigua y Medieval, Arqueología de la Arquitectura, Vitoria-Gasteiz*

**C5 PATRIMONIO Y PAISAJE: UNA APROXIMACIÓN ARQUEOPALINOLÓGICA**

P. López y J. A. López, *Laboratorio de Arqueobotánica, Departamento de Prehistoria, Instituto de Historia, CSIC, Madrid*

**C6 LIMPIEZA LÁSER DEL TÍMPANO DE TERRACOTA DE LA PORTADA DE LOS PALOS DE LA CATEDRAL DE SEVILLA**

M. Oujja<sup>1</sup>; E. Rebollar<sup>1</sup>; M. Castillejo<sup>1</sup>; C. Domingo<sup>2</sup>; F. Guerra-Librero<sup>3</sup> y C. Cirujano<sup>4</sup>, <sup>1</sup>Instituto de Química Física Rocasolano, CSIC, Madrid, <sup>2</sup> Instituto de Estructura de la Materia CSIC, Madrid, <sup>3</sup> Coresal, Madrid, <sup>4</sup>Instituto del Patrimonio Histórico Español, Madrid

**C7 UTILIZACIÓN DE HIDROFUGANTES EN CALCARENITAS: RESTAURACIÓN DE LA PORTADA DE SAN AGATÁNGELO DE LA BASÍLICA DE SANTA MARIA DE ELCHE**

M. Louis<sup>1,2</sup>; Y. Spairani<sup>2</sup>; A. Bernabéu<sup>1,3</sup> y M. A. García del Cura<sup>1,4</sup>, <sup>1</sup>Laboratorio de Petrología Aplicada. Unidad Asociada CSIC-UA, <sup>2</sup>Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Universidad de Alicante, Alicante, <sup>3</sup>Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante, <sup>4</sup>Instituto de Geología Económica. CSIC-UCM

**C8 EXCREMENTOS DE PALOMAS: UNA FUENTE POCO ESTUDIADA DE SALES EN EL PATRIMONIO**

M. Gómez-Heras<sup>1</sup>; M. Álvarez de Buergo<sup>1</sup>; D. Benavente<sup>2,3</sup> y R. Fort<sup>1,3</sup>, <sup>1</sup>Instituto de Geología Económica, CSIC-UCM, Madrid, <sup>2</sup>Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante, Alicante, <sup>3</sup>Laboratorio de Petrología Aplicada, Unidad Asociada CSIC-UA, Madrid

**C9 APLICACIÓN DEL MICRO-RAMAN A LA IDENTIFICACIÓN DE LOS POLIMORFOS DEL CARBONATO CÁLCICO PRESENTES EN MORTEROS DE CAL**

S. Martínez-Ramírez<sup>1</sup>; S. Sánchez-Cortés<sup>2</sup>; J.V. García-Ramos<sup>2</sup>; C. Domingo<sup>2</sup>; C. Fortes<sup>3</sup> y M.T. Blanco-Varela<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, CSIC, Madrid, <sup>2</sup>Instituto de Estructura de la Materia, CSIC Madrid, <sup>3</sup>Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, CSIC, Madrid.

**C10 MATERIALES PÉTREOS DEL PUENTE ROMANO DE SALAMANCA Y SU DETERIORO**

M. González-Sánchez<sup>1,2</sup>; J. García-Talegón<sup>1,2</sup>; A.C. Iñigo<sup>1,2</sup>; E. Molina<sup>1,3</sup>; V. Rives<sup>1,4</sup> y O. Lopez-Jimenez<sup>5</sup>, <sup>1</sup>Unidad Asociada IRNA-CSIC/ Universidad de Salamanca, <sup>2</sup> Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca, Salamanca, <sup>3</sup> Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, Salamanca, <sup>4</sup> Departamento de Química Inorgánica, Universidad de Salamanca, Salamanca, <sup>5</sup> Department of Archaeology, University of Reading (Gran Bretaña)

**Metales**

**C11 CORROSIÓN DEL COBRE POR VAPORES DE LOS ÁCIDOS PROPIÓNICO Y BUTÍRICO**

E. Cano; A. Echavarría; J.M. Bastidas y E.M. Mora, *Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CSIC, Madrid*

**C12 ANÁLISIS DE ALEACIONES DE BASE COBRE DEL CONTEXTO ARQUEOLÓGICO DE BILBILIS Y ESTUDIO DE SUS PROCESOS DE CORROSIÓN**

M. Gener; A. Martín Costea; V. López y E. Otero, *Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CSIC, Madrid*

**Vidrios, materiales cerámicos**

**C13 ESTADO DE CONSERVACIÓN DE UN CONJUNTO DE EMPLOMADOS DE VIDRIERAS HISTÓRICAS DE DISTINTA PROCEDENCIA**

M. García-Heras<sup>1</sup>; M.A. Villegas<sup>1</sup>; J.M.A. Caen<sup>2</sup>; C. Domingo<sup>3</sup> y J.V. García-Ramos<sup>3</sup>, <sup>1</sup>*Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CSIC, Madrid*, <sup>2</sup>*Conservation Studio, The Royal Academy of Fine Arts, Antwerpen (Bélgica)*, <sup>3</sup>*Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, Madrid*

**C14 DEGRADACIÓN Y RESISTENCIA DE ELEMENTOS METÁLICOS Y OTROS CONSTITUYENTES DE LAS VIDRIERAS DE LA CATEDRAL DE LEÓN**

M. García-Heras<sup>1</sup>; N. Carmona<sup>2</sup>; A. Robles<sup>3</sup> y M.A. Villegas<sup>1</sup>, <sup>1</sup>*Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CSIC, Madrid*, <sup>2</sup>*Fraunhofer Institut für Silikatforschung-ISC, Würzburg, Bronnbach Branch, Wertheim (Alemania)*, <sup>3</sup>*Vidrieras Catedral de León S.L., León*

**C15 ANÁLISIS DE LA CERÁMICA DECORADA DE SAN BLAS. BASES PARA EL ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS EN EL TERRITORIO CALCOLÍTICO DE TIERRA DE BARROS (BADAJOZ) DURANTE EL 3<sup>er</sup> MILENIO A.C.**

C. Odrizola<sup>1</sup>; A. Justo<sup>1</sup> y V. Hurtado<sup>2</sup>, <sup>1</sup>*Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, Sevilla*, <sup>2</sup>*Departamento de Prehistoria y Arquitectura, Universidad de Sevilla, Sevilla*

**C16 CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL Y MICRO-ANALÍTICA POR TEM/ EDX de PORCELANAS DEL BUEN RETIRO**

J. M. Rincón; M. Romero y M<sup>a</sup>. S. Hernández, *Grupo de Materiales Vítreos y Cerámicos, IETCC, CSIC, Madrid*

**Pigmentos, pinturas**

**C17 CARACTERIZACIÓN MEDIANTE ESPECTROSCOPIA ELECTRÓNICA Y VIBRACIONAL DEL ÁCIDO CARMÍNICO: EL COLORANTE DEL NUEVO MUNDO**

M.V. Cañamares, C. Domingo; J.V. García-Ramos y S. Sánchez-Cortés, *Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, Madrid*

**C18 ESTUDIO DE MORTEROS Y PIGMENTOS PROCEDENTES DE LAS FACHADAS DE LA IGLESIA PARROQUIAL DE SAN BARTOLOMÉ DE SEVILLA**

M.B. Sigüenza Carballo; A. Durán Benito; M. C. Jiménez de Haro; A. Justo Erbez y J. L. Pérez Rodríguez, *Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, CSIC, Sevilla*

**C19 MÉTODOS ACÚSTICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE UMBRALES DE ABLACIÓN DE PIGMENTOS**

M. Jadraque y M. Martín, *Instituto de Química Física Rocasolano, CSIC, Madrid*

**C20 ESTUDIO CIENTÍFICO DE PINTURAS MURALES GÓTICAS (S. XIII-XV) PROCEDENTES DE ESLOVENIA: EL ENCUENTRO ENTRE LAS CORRIENTES ITALIANAS Y NOROCCIDENTALES**

A. Kriznar<sup>2</sup>; J. Höfler<sup>2</sup>; M.A. Avilés<sup>1</sup>; E. Jiménez<sup>1</sup>; A. Ruiz Conde<sup>1</sup> y P.J. Sánchez Soto<sup>1</sup>, <sup>1</sup>*Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, Centro Mixto CSIC-Universidad de Sevilla, Sevilla*, <sup>2</sup>*Departamento de Historia del Arte, Universidad de Ljubljana, Ljubljana (Eslovenia)*

**C21 DATAción Y CARACTERIZACIÓN DE ARQUETAS DE MADERA DECORADAS: APLICACIÓN DE LA ESPECTROSCOPIA RAMAN A LA DETERMINACIÓN DE PIGMENTOS Y SOPORTES**

M.P. Aguiló<sup>1</sup>; M.V. Cañamares<sup>2</sup>; J.V. García-Ramos<sup>2</sup> y C. Domingo<sup>2</sup>, <sup>1</sup>*Instituto de Historia, CSIC, Madrid*, <sup>2</sup>*Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, Madrid*

**Documentos en soporte orgánico**

**C22 BIODETERIORO DE PELICULAS CINEMATOGRAFICAS: BIODEGRADACIÓN DE GELATINAS POR BACTERIAS**

C. Abrusci<sup>1</sup>; A. Martín-González<sup>1</sup>; A. Del Amo<sup>2</sup> y F. Catalina<sup>3</sup>, <sup>1</sup>*Departamento de Microbiología III, Facultad de Biología, Universidad Complutense de Madrid, Madrid*, <sup>2</sup>*Filmoteca Española, Instituto de la Cinematografía y de las Artes Audiovisuales, Madrid*, <sup>3</sup>*Departamento de Fotoquímica, Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros, CSIC, Madrid*

**C23 IDENTIFICACIÓN DE TINTAS Y SU ESTRATIGRAFÍA EN GRABADOS ARTÍSTICOS MEDIANTE LA TÉCNICA LIBS**

A. Vila<sup>1</sup>; M. Oujja<sup>2</sup>; E. Rebollar<sup>2</sup>; J.F. García<sup>1</sup> y M. Castillejo<sup>2</sup>, <sup>1</sup>*Departament de Pintura, Conservació-Restauració, Facultat de Belles Arts, Universitat de Barcelona, Barcelona*, <sup>2</sup>*Instituto de Química Física Rocasolano, CSIC, Madrid*

**C24 UN PROYECTO DE REVALORIZACIÓN DEL FONDO ANTIGUO DE QUÍMICA EXISTENTE EN LAS BIBLIOTECAS DEL CSIC. ALGUNOS RESULTADOS PRELIMINARES**

J. Pérez Pariente, *Instituto de Catálisis y Petroleoquímica, CSIC, Madrid*



# **O1. ARQUEOLOGÍA DE LA ARQUITECTURA Y ANALÍTICA. APLICACIÓN DE ANÁLISIS ARQUEOMÉTRICOS A PARTIR DE LA EXPERIENCIA DE LA ARQUEOLOGÍA DE LA ARQUITECTURA**

**F. Arce Sainz y M. A. Utrero Agudo**

*Instituto de Historia de Madrid, CSIC, Duque de Medinaceli 6, 28014 Madrid*  
*E-mail: utrero@ceh.csic.es*

En los últimos diez años, el investigador científico Luis Caballero Zoreda viene desarrollando una línea de investigación que ha implicado la incorporación y aplicación de un método arqueológico al análisis de la arquitectura conocido de forma genérica como lectura de paramentos. La puesta en marcha de esta línea se enmarca en el contexto de un debate historiográfico sobre la caracterización y comprensión de la arquitectura tardoantigua y altomedieval hispánica. Frente al modelo tradicional, se propone una reubicación cronológica y cultural de algunos edificios considerados hasta el momento de época visigoda y examinados desde una perspectiva tipológica y formal.

El análisis estratigráfico de los alzados construidos aporta una secuencia de acciones constructivas y destructivas ordenadas en una línea diacrónica en la que podemos individualizar cada uno de esos momentos. El problema estriba en traducir en tiempo histórico esa secuencia relativa.

El primer efecto de la aplicación del método estratigráfico es la constatación de la debilidad argumentativa de los cuadros tipológicos clásicos que hasta ahora habían sido utilizados como fósiles directores seguros. Se hacía por tanto necesario solucionar estas carencias de cronologías absolutas buscando elementos alternativos de datación.

El descubrimiento de madera constructiva en muchas de estas construcciones permitió la aplicación de métodos de datación propios de otras disciplinas: radiocarbono y dendrocronología. Por otro lado, el empleo habitual de material latericio constructivo (ladrillo, teja) ofrecía la posibilidad de recurrir a análisis de termoluminiscencia. Debido a estas circunstancias, ha sido fundamental la colaboración entre arqueólogos y científicos de estas materias dentro de proyectos coordinados. Los objetivos eran, por un lado, la búsqueda de fechas absolutas por parte de los primeros y, por otro, la oportunidad de poner a prueba la capacidad de responder y solucionar problemas históricos por parte de los segundos dentro de un periodo histórico relativamente joven para este tipo de análisis en los que las amplias horquillas cronológicas no resuelven las dudas.

En una breve y previa valoración de los resultados obtenidos, éstos se revelan como notablemente enriquecedores en la datación de los materiales, pero plantean cuestiones respecto a la interpretación de éstos como nuevos fósiles cronológicos. Las contradicciones que conllevan, fuerzan ahora a revisar los fenómenos de utilización y reutilización de estos materiales en la arquitectura.

## **O2. APLICACIÓN DE NUEVOS MÉTODOS PARA EL ESTUDIO DE LA MICROBIOLOGÍA DE LA CUEVA DE ALTAMIRA**

**J. M. González; L. Laiz; M. C. Portillo y C. Sáiz**

*Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, CSIC, Apdo.1052, 41080 Sevilla*

*E-mail: jmgrau@irnase.csic.es*

La Cueva de Altamira (Santillana del Mar, Cantabria) se conoce mundialmente por sus pinturas polícromas del período Paleolítico. Los microorganismos que viven en la cueva y los ambientes que la rodean parecen desempeñar un papel crítico en el sistema kárstico. La conservación de las pinturas rupestres de Altamira requiere el estudio de los microorganismos que se desarrollan en dicho ambiente para lo que se necesita la utilización de las técnicas más avanzadas. En este trabajo se presentan algunas de las técnicas recientemente desarrolladas para el estudio de la diversidad microbiana y de los microorganismos existentes en la Cueva de Altamira. Estos estudios se desarrollan a partir del cultivo de microorganismos y del ADN y ARN extraído de las muestras facilitadas. Estudios moleculares de la diversidad microbiana en la Cueva de Altamira se basan en la amplificación del gen de ARN ribosómico 16S a partir de ADN o de ARN. El ADN nos proporciona información de las especies presentes en las muestras, mientras que el ARN nos proporciona idea de aquellas especies con actividad metabólica, es decir, los microorganismos activos. Nuestros estudios sobre el ARN microbiano de la Cueva de Altamira son pioneros en trabajos de patrimonio histórico. Además, los cultivos de microorganismos nos permiten detectar las células cultivables presentes y estudiar su metabolismo. En la actualidad estamos utilizando los métodos moleculares más avanzados así como desarrollando constantemente nuevas técnicas, y mejorando las existentes, para facilitar el estudio, caracterización y detección de los microorganismos de la Cueva de Altamira. Entre estas técnicas podemos destacar PCR ("Polymerase-chain Reaction"), RT-PCR ("reverse transcriptase-PCR"), PCR cuantitativo utilizando diversas técnicas fluorescentes, métodos de selección e identificación de secuencias utilizando DGGE ("Denaturing Gradient Gel Electrophoresis"), secuenciación de ADN, análisis bioinformáticos y utilización de bases de datos, métodos para la identificación y clasificación de especies nuevas (determinación del contenido del %G+C y de la homología genómica entre especies utilizando nuevas técnicas basadas en colorantes fluorescentes), etc. En este trabajo se presentará un protocolo de trabajo diseñado en nuestro laboratorio, algunas de las técnicas que hemos desarrollado y su utilización con muestras y microorganismos procedentes de la Cueva de Altamira.

### O3. TRATAMIENTO DE SEÑALES ULTRASÓNICAS PARA EL ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN DE ROCAS POROSAS: IGLESIA DE SAN BARTOLOMÉ, JÁVEA (ALICANTE)

**J. Martínez-Martínez<sup>1,2</sup>; D. Benavente<sup>1,2</sup> y M.A. García de Cura<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup>Laboratorio de Petrología Aplicada, Unidad Asociada CSIC-Universidad de Alicante, Alicante

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante, Apdo.99, 03080, Alicante

<sup>3</sup>Instituto de Geología Económica, CSIC-UCM, Facultad de CC Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, José Antonio Novais 2, 28040 Madrid

E-mail: javier.martinez@ua.es

La propagación de ondas ultrasónicas a través de materiales pétreos depende tanto de las características elásticas de los minerales que componen la roca como de las características petrográficas de la misma. Así, la fracturación, la porosidad o la microestructura de un material influirán en la mejor o peor propagación de los ultrasonidos. La alteración de una roca, por otra parte, genera la modificación de estas características. En este trabajo se va a estudiar la propagación de los ultrasonidos a través de materiales porosos, y cómo se manifiesta la alteración de estos materiales en dicha propagación.

Para realizar este estudio se ha elegido la Iglesia parroquial de Jávea (Iglesia de San Bartolomé), gótica del siglo XVI, construida sobre una antigua torre almenada del siglo XIV. Esta iglesia está construida con una biocalcarenita muy porosa que regionalmente recibe la denominación de Hedra Tosca de Jávea y que se ha explotado en varios afloramientos existentes a lo largo del litoral, principalmente en los términos de Jávea y Denia. Entre los citados afloramientos cabe destacar una antigua explotación en la playa del Arenal de Jávea y la explotación de “Cova Tallada” que contiene un depósito de las citadas biocalcarenitas de donde parece ser procede la piedra de construcción de esta Iglesia. La piedra Tosca de Jávea es una biocalcarenita muy porosa (40% de porosidad determinada por porosimetría de mercurio y tratamiento de imágenes), bien seleccionada, constituida fundamentalmente por fragmentos de algas rojas, con algunos clastos de caliza y de cuarzo y algún fragmento de moluscos. Presenta una cementación en la que predomina el cemento de tipo drusy siendo muy abundante la porosidad interpartícula.

Para determinar la alteración de este material en el monumento a través de ultrasonidos se han realizado numerosas medidas en la iglesia:

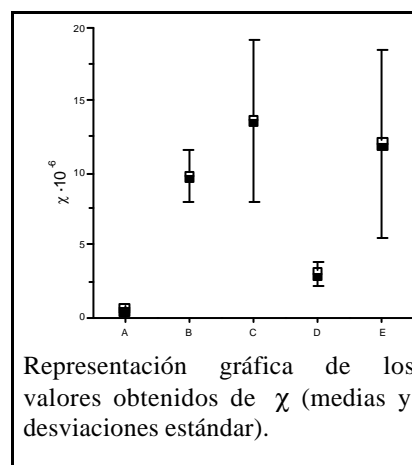
- en el exterior, tanto en material original (s. XVI) (A) como en el correspondiente a intervenciones recientes (finales s. XX) (B). La roca se encuentra totalmente expuesta a los agentes atmosféricos, y el grado de alteración que presente dependerá básicamente del tiempo de exposición bajo estas condiciones.

- en el interior de la iglesia, donde la agresividad del ambiente es menor, se han analizado elementos recientemente incorporados (retablos y altares añadidos a mediados del s. XX) (C), que presentará características similares a las de la roca fresca; así como pilares y columnas (D), que corresponden a elementos originales del monumento, y por lo tanto más alterados.

También se han realizado medidas en laboratorio sobre muestras de roca relativamente inalteradas (E).

Para realizar estas medidas se han empleado transductores no polarizados de 500 kHz y 50 kHz, eligiendo el más adecuado en función de la cantidad de señal disipada en la propagación. Entre la superficie a medir y el transductor se ha empleado un gel (*Eko-gel*) de forma que se mejore la transmisión del pulso a la roca. La señal recibida se recoge en un equipo emisor-receptor de señales (*Sonic Viewer 170*) y se graba para su posterior análisis en ordenador. A partir del tratamiento de las señales ultrasónicas medidas, se han obtenido las velocidades de propagación de las ondas ultrasónicas, la energía con la que se recibe la señal y la atenuación de la misma, y se ha analizado qué parámetro es más representativo del grado de alteración de la roca. El parámetro  $\chi$  (función de la velocidad de propagación y del tiempo en el que se registra la máxima amplitud) es el que muestra una mayor dependencia con el grado de alteración del material en el monumento.

*Trabajo subvencionado por el Proyecto MAT2000-074.*



## O4. TÉCNICAS MICROSCÓPICAS EN LA EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE GRANITOS POR ACCIÓN DEL FUEGO

**M.J. Varas; M. Gómez-Heras; M. Álvarez de Buergo y R. Fort**

*Instituto de Geología Económica, CSIC-UCM, Facultad de CC Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, José Antonio Novais 2, 28040 Madrid*  
*E-mail: mjvaras@geo.ucm.es*

El fuego se ha considerado tradicionalmente un agente de deterioro de los materiales pétreos (1). Los procesos que ocurren en las rocas durante un fuego no se conocen suficientemente, aunque si son patentes los daños que produce (ensuciamiento, fracturas, desplazados, rubefactaciones).

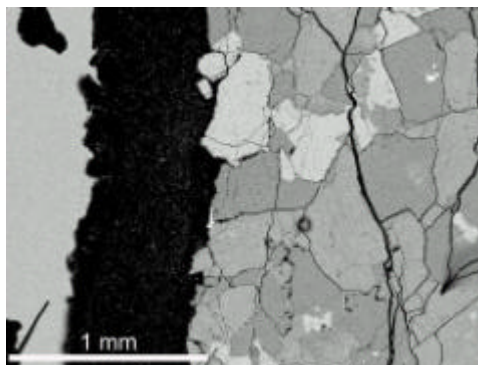
Las técnicas experimentales más idóneas para la valoración de los efectos del fuego dependerán del tipo de roca afectada. En las rocas sedimentarias detríticas, compuestas por un esqueleto clástico y una matriz que actúa absorbiendo los efectos dinámicos de la dilatación producida por el fuego, los efectos del fuego se concentran en cambios mineralógicos en la matriz (1) y son las técnicas de caracterización químico-mineralógica las que aportan mayor información sobre las transformaciones producidas. Sin embargo, en rocas más competentes mecánicamente como por ejemplo las rocas graníticas, los efectos principales de un fuego se referirán a la modificación estructural de la roca debido a la creación de fisuras.

La fisuración puede proceder tanto de los procesos geodinámicos internos, como de los procesos industriales de extracción, corte, talla y acabado. Todo ello ha podido generar zonas de debilidad previas que son fundamentales para entender el comportamiento mecánico de la roca durante procesos de deterioro externos como el hielo-deshielo, la cristalización de sales o el fuego, especialmente si consideramos modelos de rotura a partir de la evolución de microfisuras preexistentes basados en los criterios de Griffith (2).

Las altas temperaturas generadas en un fuego favorecen la transición de fase cuarzo  $\alpha$  a  $\beta$  con el consecuente efecto dinámico (esfuerzo-deformación) que supone este cambio. A esto se suma la dilatación diferencial entre los diferentes granos minerales y en su evolución con la profundidad debido al intenso gradiente térmico que se genera rápidamente en el seno de la roca.

En este caso las técnicas microscópicas (polarización, fluorescencia y electrónica de barrido) nos permiten diferenciar y cuantificar familias de fisuras por su génesis y evolución; datos que no obtenemos de los resultados obtenidos de ensayos dinámicos directos o indirectos (ultrasonidos).

Se estudió un monzogranito procedente del Castillo de la Coracera (S. XIV-XV) en San Martín de Valdeiglesias (Madrid). La acción del fuego sobre el granito es superficial. Además de ensuciamiento (negro) y una gradación del color con la profundidad (grises a rosas y blancos), se detectaron dos tipos de fisuras en el primer centímetro de profundidad. El tipo dominante corresponde a una fisuración intercrystalina que aparece a lo largo de todo el primer centímetro. El segundo tipo solo aparece en los primeros 0.6 mm y es una fisuración intracrystalina paralela a la superficie de la piedra (figura). Estas fisuras serían las responsables del descamado y desplazado de la superficie del granito por procesos de fuego.



### REFERENCIAS

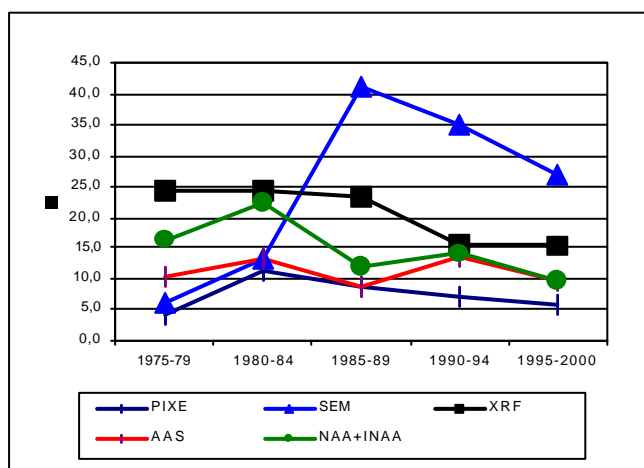
- (1) Griffith, A.A., (1921): The phenomena of rupture and flow in solids. Philosophical Transactions Royal Soc. of London, 221(A): 163-198.
- (2) Gómez-Heras, M. Varas, M.J., Álvarez de Buergo, M., Fort, R. (2004): Characterization of changes in matrix of sandstones affected by historical fires. 10<sup>th</sup> International Congress on Deterioration and Conservation of Stone. Estocolmo: 27 Junio- 2 Julio 2004 (Comunicación aceptada).

## O5. TÉCNICAS DE ANÁLISIS EN EL ESTUDIO DE METALES ANTIGUOS: PASADO Y PRESENTE DE LA INVESTIGACIÓN ARQUEOMETALÚRGICA

I. Montero Ruiz <sup>1</sup> y E. López-Romero González de la Aleja <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Prehistoria, Instituto de Historia, CSIC, Serrano 13, 28001 Madrid  
E-mail: imontero@ih.csic.es

Los estudios analíticos sobre metales prehistóricos tienen sus orígenes en el siglo XIX. Durante las décadas centrales del siglo XX se desarrollaron principalmente proyectos de *corpora* analíticos cuyo objetivo se dirigía a la resolución de problemas de procedencia y redes de distribución de metales (Otto y Witter, 1952; Pitoni, 1959; Junghans et al. 1960, 1968, 1974; Chernij, 1966) basados en la composición del metal. Al mismo tiempo, se fueron desarrollando estudios sobre la Historia de la Tecnología, empleándose de manera más esporádica técnicas complementarias como la metalografía o el test de microdureza.



No será, sin embargo, hasta el último cuarto del siglo XX cuando los estudios sobre arqueometalurgia se generalicen y el número de grupos de investigación y la diversidad de técnicas utilizadas se vea incrementado de forma significativa.

En el presente estudio nos centraremos en el análisis (en base a criterios bibliométricos) de las tendencias y cambios operados en este campo de investigación a través del estudio de los trabajos publicados en los Congresos Internacionales de Arqueometría y las revistas especializadas *Archaeometry* y la *Revue d'Archeométrie*. Analizaremos el tipo de materiales (metales, aleaciones y residuos de producción), periodos cronológicos, autores y sobre todo las técnicas

analíticas y su evolución.

En este último apartado destaca la microscopia electrónica de barrido (SEM) como técnica más empleada, aunque su apogeo se produce a partir de la segunda mitad de los años 80. El uso de la Fluorescencia de rayos X, predominante en los años 70, se mantiene en los 80 para descender en los 90. Un cambio importante en la investigación se produce con los análisis de isótopos de plomo, especialmente en la segunda mitad de los 90.

### REFERENCIAS

- (1) CHERNIJ, E. 1966: *Istoriya drevnejsej metallurgii Vostocnoj Evropy*. Moskau: Akad. Nauk SSSR.
- (2) JUNGHANS, S., SANGMEISTER, E. y SCHRÖDER, M. 1960: *Metalla-nalysen Kuperzeitlicher und frühbonze-zeitlicher Bodenfun-de aus Europe*. S.A.M., I.
- (3) JUNGHANS, S., SANGMEISTER, E. y SCHRÖDER, M. 1968: *Kupfer u. Bronze in der frühen Metallzeit Europas. Katalog der Analysen 985-10040*. S.A.M. 2. Berlín.
- (4) JUNGHANS, S., SANGMEISTER, E. y SCHRÖDER, M. 1974: *Kupfer u. Bronze in der frühen Metallzeit Europas. Katalog der Analysen Nr.10041-22000*. Berlín.
- (5) OTTO, H. y WITTER, W. 1952: *Handbuch der ältesten vorgeschichtlichen metallurgie in mittleeuropa*. Barth Verlag. Leipzig.
- (6) PITTIONI, 1959: "Zweck und ziel spektralanalytischer untersuchungen für die uegeschichte des kupferbergwesens". *Archaeologia Austriaca*, 26: 67-95.



## O6. TÉCNICA LIBS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA CORROSIÓN DE VIDRIOS

**N. Carmona<sup>1</sup>; M. Oujja<sup>2</sup>; E. Rebollar<sup>2</sup>; H. Römich<sup>1</sup> y M. Castillejo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Fraunhofer-Institut für Silicatforschung-ISC, Würzburg, Bronnbach Branch ,Bronnbach, 28. 97877 Wertheim (Alemania)*

<sup>2</sup>*Instituto de Química Física Rocasolano, CSIC, Serrano 121, 28006 Madrid, España*  
*E-mail: carmona@isc.fhg.de; marta.castillejo@iqfr.csic.es*

Los vidrios históricos, tanto los que proceden de yacimientos arqueológicos como los que forman parte de las vidrieras, han sufrido desde sus orígenes un proceso de deterioro influenciado en gran medida por su composición química. Otro de los factores que contribuye a la corrosión es el entorno ambiental al que han estado sometidos durante las últimas décadas o siglos (contaminación atmosférica o componentes del suelo). Éstos favorecen el intercambio iónico con la superficie y la formación de sales con cationes del interior del vidrio, que pueden originar capas de corrosión de hasta varios cientos de micras.

La caracterización de las capas de corrosión de los vidrios históricos es importante para la aplicación y optimización de los métodos de restauración y conservación más adecuados, así como para mejorar sus condiciones de almacenamiento.

La técnica más frecuentemente empleada en la actualidad para el análisis de vidrios deteriorados es la microscopía electrónica de barrido (Scanning Electron Microscopy, SEM), que ofrece la posibilidad de realizar análisis químicos por dispersión de energías de rayos X (EDX). No obstante, para la preparación de secciones transversales de la muestra es necesario destruir una pequeña parte del original.

En este trabajo se han evaluado las aplicaciones de la técnica LIBS (*Laser Induced Breakdown Spectroscopy*) en la caracterización de vidrios modelo envejecidos artificialmente. Una vez optimizados los parámetros láser y los parámetros de adquisición de la señal proveniente de la pluma de ablación, se pudieron identificar no sólo los componentes mayoritarios de los vidrios, sino también sus cromóforos. Entre las ventajas de esta técnica, apenas empleada en análisis y diagnóstico de vidrios, se encuentra su carácter mínimamente destructivo, ya que consume una cantidad micrométrica de muestra en la obtención de los espectros de emisión de la pluma de ablación. Asimismo, el análisis estratigráfico con sucesivos pulsos láser ha permitido diferenciar las capas de corrosión del interior inalterado del vidrio, y realizar estimaciones de la profundidad de las costras de corrosión.

Los resultados prueban que esta técnica es adecuada para la caracterización de la degradación sufrida por objetos de vidrio históricos, con ventajas adicionales con respecto a las técnicas convencionales.

*Trabajo financiado por proyectos MCYT (BQU2000-1163-C02-01) y Comunidad de Madrid (06/134/2003). Se agradece al CSIC la concesión de un contrato I3P (M.O.) y una beca predoctoral (E.R.). N. C. agradece a la Acción COST Artwork Restoration by Laser la concesión de una STSM (Short Term Scientific Mission).*

## O7. ANÁLISIS NO DESTRUCTIVO DE VIDRIERAS DE LA CATEDRAL DE ÁVILA MEDIANTE ESPECTROSCOPIA MICRORAMAN MAPPING Y CONFOCAL

**S. Murcia-Mascarós<sup>1</sup>; C. Domingo<sup>1</sup>; A. Muñoz Ruiz<sup>2</sup>; S. Sánchez Cortés<sup>1</sup> y J. V. García-Ramos<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, Serrano 121, 28006 Madrid

<sup>2</sup> Vetraria Muñoz de Pablos S.L., Ctra. Arévalo, Km.4, 40003 Segovia

E-mail: smascaros@iem.cfmac.csic.es

La espectroscopía micro-Raman es un método analítico empleado con éxito para el diagnóstico de objetos de arte (1). Se trata de una técnica no destructiva, sin contacto con la muestra y que no necesita un tratamiento previo de la misma. Combinando la microscopia óptica, que proporciona información morfológica, y la espectroscopía Raman, que da información sobre la estructura molecular, es posible identificar inequívocamente la composición química de una muestra, incluso cuando se encuentra en concentraciones muy pequeñas, además de su caracterización molecular, puesto que el espectro Raman es característico de un compuesto determinado.

La espectroscopía Raman resulta de gran utilidad para estudiar los procesos que tienen lugar en la superficie de un material sometido a envejecimiento. También puede ayudar a monitorizar el proceso de restauración y los efectos de un determinado método de conservación.

En este trabajo, hemos empleado las técnicas Raman mapping y confocal para caracterizar pequeñas piezas de vidrio de vidrieras del siglo XVI procedentes de la Catedral de Ávila.

Las vidrieras históricas muestran una gran variedad de fenómenos de corrosión (2) como por ejemplo *pitting* (pequeños cráteres cónicos) y costras (capas de corrosión de composición variada). El factor principal que produce la alteración del vidrio es el agua. En las condiciones atmosféricas actuales, el pH del agua que se condensa en la superficie de las vidrieras es sobre todo ácido, lo que da lugar a un proceso de lixiviación de los iones alcalinos y alcalino-térreos presentes en la red de tetraedros de SiO<sub>4</sub> del vidrio. La intensidad de este proceso depende especialmente de la composición química del mismo, siendo mucho mayor en los vidrios ricos en potasio que en los que contienen mayoritariamente sodio.

La composición de las costras refleja la naturaleza de los gases contaminantes presentes en el momento de su formación (Ej.: CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> procedentes de la combustión). La presencia de costras reduce la transparencia del vidrio y modifica los colores impidiendo en algunos casos la interpretación iconográfica de la vidriera.

La espectroscopía Raman permite identificar la composición de las distintas capas de material de corrosión, grisalla y vidrio así como su distribución en la superficie de la vidriera.

Hemos realizado mapas de superficie de numerosos fragmentos de las vidrieras de la Catedral de Ávila empleando un espectrómetro Renishaw 2000 con láser de diodo de 784 nm. Hemos encontrado que la mayoría de las zonas investigadas contienen carbonatos, óxidos, partículas de carbón y sílice. Entre estos compuestos los mayoritarios son carbonato de calcio y óxido de hierro, cuyas bandas características a 1085cm<sup>-1</sup> y a 294cm<sup>-1</sup>, han sido seleccionadas para elaborar los mapas. Los mapas obtenidos muestran la distribución y la intensidad de estas bandas en una línea o área examinada.

Para aumentar la sensibilidad y selectividad de las medidas, hemos empleado la configuración confocal que permite aumentar la resolución espacial a lo largo del eje z y así hemos podido cuantificar el espesor de la capa de corrosión de carbonato.

*Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Comunidad de Madrid (Proyecto 06/0134/2003). Se agradece al CSIC la concesión del contrato postdoctoral I3P (S.M.M.) financiado por el Fondo Social Europeo.*

### REFERENCIAS

- (1) Raman microscopy in art history and conservation science". G.D. Smith, R.J.H. Clark. *Reviews in Conservation*, 2 (2001) 92.
- (2) "Procesos de alteración de las vidrieras medievales. Estudio y tratamientos de protección". J.M. Fernández Navarro. *Materiales de Construcción*. 46 (1996) 5.

## O8. CARACTERIZACIÓN DE LA COLECCIÓN DE MANUSCRITOS ÁRABES DE LA ABADÍA DEL SACROMONTE DE GRANADA

**A. Durán<sup>1</sup>; T. Espejo<sup>2</sup>; A. López<sup>2</sup>; M. B. Sigüenza<sup>1</sup>; M. C Jiménez<sup>1</sup>; A. Justo<sup>1</sup> y J. Luis Pérez-Rodríguez<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Instituto de Ciencia de los Materiales de Sevilla, CSIC, Américo Vespucio s/n, Isla de la Cartuja, Sevilla*

<sup>2</sup> *Facultad de Bellas Artes, Universidad de Granada, Avda. Andalucía s/n, 18071 Granada*  
E-mail: [adrian@icmse.csic.es](mailto:adrian@icmse.csic.es)

Proponemos en este trabajo un nuevo modelo de acercamiento y análisis de nuestro patrimonio documental, más aún teniendo en cuenta que la colección de manuscritos objeto de estudio ha sido tratada exclusivamente desde un punto de vista archivístico sin desarrollar un modelo científico o codicológico en el más amplio sentido del término.

Se han analizado una serie de muestras constitutivas de los diferentes libros, incluyendo pigmentos y fibras. Para ello las técnicas empleadas han sido microscopía óptica, difracción de rayos X, espectroscopías IR y Raman con microscopio incorporado y microscopía electrónica de barrido con análisis elemental por energías dispersivas de rayos X.

Los exámenes efectuados sobre los pigmentos constitutivos de algunas de las muestras de tinta proporcionadas indican que el color negro está formado por tinta negra de hierro (combinación de sulfato ferroso, ácido gálico y tanino), negro de humo (carbón vegetal) y tierra sombra (silicato de hierro y magnesio), el color rojo, por blanco de España (carbonato de calcio), albayalde (carbonato básico de plomo) y bermellón (sulfuro de mercurio), el color verde, por malaquita (carbonato básico de cobre), y el azul, por lapislázuli o azul ultramar (silicato de sodio y aluminio) con pequeñas cantidades de sulfuros y calcita y trazas de pirita. En cuanto al aglutinante usado se ha podido determinar que en este caso ha sido goma arábiga, y es importante resaltar que en algunas de las muestras se observa una gran actividad biológica. Los análisis realizados también han podido establecer el tipo de fibra constituyente del papel, en esta ocasión, lino y cáñamo.



Los datos obtenidos nos ayudarán a crear una base de datos y una estadística que permitirá realizar estudios comparativos sobre la utilización de pigmentos, aglutinantes y fibras, su evolución y clasificación. La aportación, cotejo, recopilación e interpretación de todos los estudios y análisis ponen a disposición y servicio del restaurador un total conocimiento de las obras en todas sus vertientes.

El extenso arco cronológico en el que estos documentos se incluyen y su localización geográfica nos hacen reflexionar sobre la interacción e intercambio cultural entre Oriente y Occidente. Las conclusiones derivadas de este estudio servirán para aportar nuevos datos técnicos y de los materiales constitutivos del patrimonio documental árabe de Al-Andalus.

# **C1. TÉCNICAS DE DOCUMENTACIÓN GRÁFICA PARA EL ESTUDIO DE LA EDIFICIA HISTÓRICA. LA RECTIFICACIÓN FOTOGRÁFICA COMO INSTRUMENTO PARA EL ANÁLISIS ARQUEOLÓGICO**

**A. Pizzo**

*Instituto de Arqueología de Mérida, CSIC, Reyes Huertas 1, 06800 Mérida*  
*E-mail: antoniopizzo@iam.csic.es*

La comunicación que aquí se propone se enmarca en una de las cinco líneas de trabajo previstas por la Red Temática: el área de Arqueología y Patrimonio Arquitectónico.

En el ámbito de la Arqueología de la Arquitectura, la fase de documentación gráfica constituye la primera aproximación para la comprensión de la complejidad constructiva del conjunto arquitectónico, resultando de gran importancia para la sucesiva definición de las acciones sufridas por el monumento a lo largo del tiempo. En este sentido, la investigación reciente se orienta hacia la experimentación y la utilización de técnicas que puedan sustituir las representaciones gráficas de los edificios realizadas con el levantamiento planimétrico por medio de la fotogrametría arquitectónica.

Una opción que manifiesta validez y fiabilidad desde el punto de vista de las representaciones bidimensionales de las fábricas de los edificios es la rectificación fotográfica. Esta técnica, utilizada en arquitectura, consiste en una corrección ortogonal de imágenes digitales realizadas con cámaras métricas o no métricas a través de la correlación entre la imagen y un sistema de coordenadas topográficas tomadas previamente.

Los primeros resultados de esta aplicación a contextos de arquitectura histórica de época romana han revelado la posibilidad de obtener una buena documentación gráfica, capaz de ofrecer la base para la lectura estratigráfica de los monumentos analizados y la sucesiva realización de planimetrías detalladas, obviando los costes y los tiempos del levantamiento fotogramétrico.

En el ámbito de la Reunión se presentarán, por un lado, el software y el proceso de realización de la rectificación y, finalmente, los resultados relativos a casos concretos efectuados en monumentos de la Mérida romana como el llamado “Arco de Trajano” y el conjunto monumental adyacente.

## C2. INVESTIGACIÓN APLICADA A LA CONSERVACIÓN DEL ARTE PREHISTÓRICO EN CAVIDADES KÁRSTICAS: LA CUEVA DE ALTAMIRA

S. Sánchez-Moral<sup>1</sup>; S. Cuezva<sup>1</sup>; J.C. Cañaveras<sup>2</sup>; J. Lario<sup>3</sup> y V. Soler<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, 28006 Madrid

<sup>2</sup> Dpto. de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante, Ap. Correos 99, 03080 Alicante

<sup>3</sup> Dpto. de Ingeniería Geológica y Minera, Fac. C. del Medio Ambiente, UCLM, 45071 Toledo

<sup>4</sup> Instituto de Productos Naturales y Agrobiología, CSIC, Tenerife

E-mail: [scuezva@mncn.csic.es](mailto:scuezva@mncn.csic.es)

El Arte Rupestre se encuentra situado dentro de un medio natural cuyas características propias presentan variables muy diferentes a las existentes en la sala de un museo. Así, es necesaria la elaboración de herramientas de administración apropiadas para favorecer la preservación de las representaciones artísticas y hacer compatible su disponibilidad al público garantizando su conservación. La resolución de problemas de conservación de cuevas con arte rupestre está directamente relacionada con un completo conocimiento del equilibrio físico-químico del sistema kárstico. Este equilibrio depende de los intercambios naturales de energía entre la atmósfera de la cueva, la superficie de la roca que albergan las pinturas y grabados prehistóricos, el agua kárstica y la atmósfera exterior.

La Cueva de Altamira, declarada por la UNESCO como Patrimonio de la Humanidad en 1985, alberga unas excepcionales representaciones artísticas paleolíticas. El alto grado de conservación de estas pinturas rupestres en el momento de su descubrimiento se debe fundamentalmente a la falta de agresividad de las condiciones kársticas y climáticas naturales (baja tasa de infiltración de agua a través de los estratos calcáreos y mantenimiento de unas condiciones microclimáticas estables desde el cierre natural de la cueva hasta su descubrimiento). La protección y gestión de este legado prehistórico deben estar dirigidas por un estudio científico multidisciplinar, que incluya estudios geológicos, climáticos, hidroquímicos y microbiológicos. La conjunción de todos estos datos permite construir modelos matemáticos (o físico-químicos) o representaciones simplificadas de la complejidad del ambiente en cueva. Estos modelos son la herramienta fundamental en la definición y delimitación de las áreas de protección, así como los cálculos de la capacidad de visitas de la cueva. La investigación geológica sobre el sistema kárstico debe incluir el estudio de la composición mineralógica y química de la roca-encajante; las características estructurales del sistema de la cueva; el análisis de la geomorfología exo- y endokárstica; la localización y caracterización de los espeleotemas activos; la hidrología del karst, para determinar las principales líneas de flujo de infiltración de agua subsuperficial dentro de la cueva; y la caracterización del suelo exterior, como una fuente de CO<sub>2</sub> al karst. A través de estudios microclimáticos (mediante la instalación de un sistema de monitorización microclimática in-situ) e hidroquímicos se obtiene un complejo conocimiento de los intercambios de energía y masa entre las superficies rocosas, la atmósfera de la cueva y las aguas kársticas. El estudio de las características del agua kárstica permite definir la naturaleza y tasas de los procesos de disolución/precipitación que tienen lugar en la superficies rocosas de la cueva, así como las fuentes de contaminación de las aguas subterráneas. Los estudios microambientales (clima, agua) y microbiológicos nos permiten distinguir entre el impacto humano y las modificaciones naturales en el ambiente de la cueva, fundamental para la correcta gestión de la conservación del arte rupestre.



### **C3. AISLAMIENTO DE DOS NUEVAS ESPECIES DE AGROMYCES DE GROTTA DEI CERVI, PORTO BADISCO, ITALIA**

**V. Jurado; L. Laiz; J. M. González y C. Sáiz Jiménez**

*Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, CSIC, Apdo. 1052, 41080 Sevilla*

*E-mail: vjurado@irnase.csic.es*

Sólo una pequeña fracción de microorganismos presentes en la tierra son conocidos y pueden ser cultivados por el hombre. La inmensa mayoría o no son cultivables en las condiciones de laboratorio utilizadas o, si lo son, no han sido aún descubiertos. La posibilidad de descubrir nuevos microorganismos aumenta al investigar entornos inexplorados tales como los ambientes hipogeos. En los estudios de cuevas con pinturas rupestres existen una variedad de nichos ecológicos potencialmente interesantes y una gran diversidad biológica, puesta de manifiesto mediante técnicas moleculares. Un ejemplo de ello es *Grotta dei Cervi*, en Porto Badisco, sur de Italia, descubierta en 1970 y caracterizada por la presencia de importantes pinturas neolíticas que decoran las paredes de la galeña central de la cueva.

En los muestreos efectuados en *Grotta dei Cervi* en 1998 se aislaron un número de microorganismos desconocidos para la ciencia. El estudio se centró en aquellos pertenecientes al género *Agromyces*. Especies del género *Agromyces* también se han descubierto en cuevas españolas (Altamira, Tito Bustillo) y en catacumbas. Para su clasificación se realizaron estudios microscópicos, fisiológicos y análisis bioquímicos de compuestos celulares, así como métodos moleculares para precisar la posición filogenética de las cepas aisladas. Todas estas técnicas permitieron clasificar los cepas obtenidas en dos nuevas especies del género *Agromyces*: *Agromyces salentinus* y *Agromyces neolithicus*.

La descripción de nuevas especies de actinobacterias permite profundizar en el estudio de la distribución, la dinámica de poblaciones, el crecimiento y los procesos biogeoquímicos que estos microorganismos pudieran llevar a cabo en ambientes hipogeos y por tanto deducir su posible implicación en los procesos de biodeterioro del patrimonio cultural

## C4. EL VALLE SALADO DE SALINAS DE AÑANA (ÁLAVA)

### **A. Plata Montero**

*Unidad Asociada CSIC-UPV/EHU, GATMAA, Grupo de Arqueología Tardoantigua y Medieval, Arqueología de la Arquitectura, Tomás y Valiente s/n, 01006 Vitoria-Gasteiz  
E-mail:fgbplmoa@vc.ehu.es*

#### *Contexto de la intervención:*

El estudio arqueológico de las Salinas de Añana forma parte del Plan Director que está siendo elaborado de manera multidisciplinar por varios equipos con el fin de crear el instrumento clave para su recuperación integral. El conjunto de estudios históricos ha sido encomendado al Grupo de Investigación en Arqueología de la Arquitectura de la Universidad de País Vasco, que se ha planteado como objetivo prioritario conocer la evolución histórico-constructiva del valle, cuyo entendimiento hará posible explicar sus transformaciones a lo largo de la historia, su diacronía, sus fases; en definitiva todos los avatares que ha sufrido el complejo salinero a lo largo de sus 1181 años documentados de historia.

#### *Resultados:*

**Introducción:** El estudio realizado posee desde el punto de vista arqueológico una complejidad enorme, debido a las particulares características del lugar -concentración de una actividad económica en un mismo lugar durante al menos 1.181 años-, así como a su tamaño -5.648 eras ocupando una superficie de unos 111.000 m<sup>2</sup>-. Por ello, hemos tenido que adaptar los recursos metodológicos usuales al caso específico del valle salado, replanteándonos los sistemas de trabajo, incluso durante la ejecución del propio estudio. En el estado actual de la investigación, en la que resta aún por conocer los resultados de varios estudios que se encuentran en curso, podemos dividir la evolución del valle en tres periodos principales, uno inicial en el cual las soluciones constructivas responden al conocimiento tradicional de los artesanos de época preindustrial, uno intermedio en el que a partir de principios del siglo XIX la Administración Real participa activamente con la intención de fomentar la calidad y cantidad de la producción, y uno final, que abarca prácticamente el siglo XX, en el que se intenta por todos los medios masificar la producción, introduciéndose como principal innovación la utilización del cemento.

#### **Fases de la evolución constructiva:**

##### **Periodo I: La época preindustrial.**

Las infraestructuras del complejo productivo en este período, estaban repartidas -al menos desde la Alta Edad Media- por todo el valle, entre el manantial principal situado en la parte alta del valle y la iglesia de Villacones, situada en el extremo opuesto. Las construcciones se encontraban circunscritas a la parte baja de las laderas, aprovechando aquellas zonas cuya morfología era más apta, esto es, desniveles poco acusados, en los que las obras de aterrazamiento no exigían un gran esfuerzo. La construcción de los aterrazamientos era aleatoria, adaptándose a los desniveles naturales de las laderas del valle, no conformando terrazas lineales, sino agrupamientos de extensión variada delimitados por caminos. Los pozos de escasa capacidad se encontraban excavados en el terreno, pudiendo estar abiertos o bajo las eras a modo de pozos de boquera, lo que provocaba la necesidad de la extracción continua del agua para proceder al riego, que era el sistema productivo para la obtención de sal utilizado en este período.

**Periodo II: El intervencionismo Real.** La Administración Real y los propios productores tenían constancia ya desde al menos el siglo XVI de que el valle salado podía producir mucho más de lo que estaba produciendo, y que este fallo se debía en gran parte a las deficientes infraestructuras de la fase anterior; por ello la Administración, en 1801, promovió una reforma generalizada del valle con el fin de mejorar la calidad de la sal, aumentar su producción y evitar la importación ilegal. Esta reforma integral del valle salado provocó la práctica desaparición de las fases constructivas anteriores, de las cuales sólo se conservaron aquellos elementos que eran compatibles con las innovaciones técnicas adoptadas.

**Periodo III: El abandono de la lógica constructiva.** La introducción del cemento (s. XX) La pérdida de competitividad productiva debida principalmente al auge de las salinas costeras en las que se habían introducido importantes mejoras técnicas, provocó que los productores intentaran extraer el máximo rendimiento posible a sus propiedades, sin importarles que ello conllevara un rápido deterioro del conjunto salinero y desembocara en la práctica desaparición de su fábrica. Por ello, este periodo se caracteriza por el abandono de las técnicas constructivas consideradas tradicionales, debido principalmente a la utilización del cemento como material constructivo predominante. Su aplicación se centró principalmente en dos ámbitos, el primero en el constructivo, ya que mediante encofrados de mortero de cemento se construyeron numerosas estructuras y el segundo en el productivo, al utilizarse el cemento como superficie de las eras. Este hecho supuso un incremento

considerable de la producción, ya que se facilitaba la recogida de la sal y se abarataban considerablemente los gastos de construcción de las eras. Sin embargo esta innovación supuso el comienzo del fin de las salinas, ya que el material empleado no se podía reutilizar, por lo que las reparaciones de las superficies de las eras se realizaban mediante la superposición de capas, lo que conllevaba un aumento considerable de peso, incrementándose al mismo tiempo la posibilidad de derrumbe de la estructura.

Con el tiempo, la sucesiva reparación de las infraestructuras fue generando una cantidad de escombros ingente que los granjeros no evacuaban de las salinas debido a la complicación y elevado coste de su transporte. Todo ello unido a la definitiva pérdida de rentabilidad económica de la producción a partir de los años 60, produjo el abandono de la producción de sal, provocando en apenas 40 años el estado de ruina que podemos apreciar actualmente en gran parte del valle.

## **C5. PATRIMONIO Y PAISAJE: UNA APROXIMACIÓN ARQUEOPALINOLÓGICA**

**Pilar López García y José Antonio López Sáez**

*Laboratorio de Arqueobotánica, Departamento de Prehistoria, Instituto de Historia, CSIC, Duque de Medinaceli 6, 28014 Madrid*  
*E-mail: plopez@ih.csic.es*

Dentro de las diversas áreas de los estudios arqueológicos, una de las antes consideradas periféricas, pero que en la actualidad está siendo utilizada con creciente regularidad, es aquella relacionada con el paleoambiente. La rama directamente relacionada con el aprovechamiento de los vegetales por el hombre es la arqueobotánica, ciencia que estudia los restos vegetales preservados en asociación con depósitos arqueológicos. Y dentro de ésta, podríamos definir la paleopalinología arqueológica o arqueopalinología, como aquella rama de la palinología encargada de la identificación de los pólenes y esporas fosilizados en sedimentos arqueológicos, así como de la interpretación de los resultados derivados de dicha identificación.

La paleopalinología aplicada a la arqueología permite dilucidar pautas de evolución de la vegetación a escala regional, así como inferir hipótesis de tipo paleoclimático, informa sobre la deforestación del entorno de un yacimiento, su antropización y el enriquecimiento de los suelos con nutrientes como fósforo y nitrógeno, la utilización selectiva de alguna especie, la existencia de una cabaña ganadera, la introducción de especies exóticas así como el establecimiento de cultivos (cereales y leguminosas), sobre el grado de contaminación de las aguas, la evolución temporal del trofismo, la utilización selectiva del fuego, el origen natural o antrópico de los incendios, la relación entre los periodos de sequedad y humedad, el nivel de circulación del agua, la variación del nivel de la capa freática, el grado de erosión, etc.

En conclusión, las relaciones entre los pueblos prehistóricos y su medio ambiente, del cual ellos mismos formaban parte, es, posiblemente, una de las problemáticas más interesantes que se le plantean a la arqueología actualmente. Los elementos diagnósticos que aporta la palinología arqueológica son de indudable valor en la puesta en escena del patrimonio natural y cultural de la Península Ibérica.

## C6. LIMPIEZA LÁSER DEL TÍMPANO DE TERRACOTA DE LA PORTADA DE LOS PALOS DE LA CATEDRAL DE SEVILLA

**M. Ouja<sup>1</sup>; E. Rebollar<sup>1</sup>; M. Castillejo<sup>1</sup>; C. Domingo<sup>2</sup>; F. Guerra-Librero<sup>3</sup> y C. Cirujano<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Química Física Rocasolano, CSIC, Serrano 119, 28006 Madrid

<sup>2</sup> Instituto de Estructura de la Materia CSIC, Serrano 121, 28006 Madrid

<sup>3</sup> Coresal, Donoso Cortés 90, 28006 Madrid

<sup>4</sup> Instituto del Patrimonio Histórico Español, El Greco 4, 28040 Madrid

E-mail: m.ouja@iqfr.csic.es; marta.castillejo@iqfr.csic.es

Las técnicas láser han sido recientemente incorporadas a la práctica de la conservación del patrimonio. En Europa, el interés por estas técnicas se ha incrementado en la última década, lo que ha permitido su ensayo y validación en actividades que incluyen la limpieza láser de piedras, metales, pinturas artísticas, documentos, el diagnóstico estructural de frescos y objetos artísticos, el análisis de la composición de materiales, el control medioambiental, etc.

Investigaciones previas han mostrado que el uso de láseres de Nd:YAG *Q-switched* permite la limpieza precisa y controlada de superficies de terracota (1). Si la fluencia del láser se mantiene por debajo de un cierto umbral es posible eliminar la capa de suciedad sin dañar el sustrato. Las técnicas láser han sido utilizadas en la restauración de las famosas esculturas de terracota de guerreros chinos de la dinastía Qin láser, lo que constituye un ejemplo de validación de dichas técnicas (2). La terracota es una arcilla cocida de coloración rojiza constituida por silicatos aluminosilicatos, óxido de hierro y carbonato cálcico y magnésico. Se trata de un material muy utilizado en nuestro país para la realización de vasijas, esculturas y decoraciones arquitectónicas.

En la reciente restauración de los motivos escultóricos y esculturas de bulto redondo del tímpano de la Portada de los Palos de la Catedral de Sevilla, ejecutados en terracota, se ha utilizado la limpieza láser junto con métodos basados en la microproyección y la limpieza mecánica. En este trabajo se describen las pruebas de limpieza láser realizadas en laboratorio y los resultados del trabajo de restauración. Para la caracterización de los materiales se aplicaron las técnicas de espectroscopía LIBS (*Laser-Induced Breakdown Spectroscopy*) y microscopía Raman sobre una muestra de dicho tímpano cuya superficie se hallaba cubierta de una capa de suciedad ennegrecida.

Para los ensayos de limpieza y los estudios LIBS en el laboratorio se utilizó un láser de Nd:YAG (Quantel, Brilliant B, pulso de 5 ns, velocidad de repetición de 10 Hz). La superficie de la muestra fue irradiada a distintas fluencias (energía del pulso láser por unidad de superficie) utilizando la radiación fundamental del láser y sus armónicos a 532 y 266 nm. Los mejores resultados se obtuvieron al irradiar a 1064 nm. Los espectros LIBS fueron recogidos en el rango de 250-600 nm con un espectrógrafo de 0.30 m (TMc300 Bentham, 1200 líneas/mm, 500 nm *blaze*) acoplado a una cámara CCD intensificada (2151 Andor Technologies). Se observaron emisiones correspondientes a silicio, aluminio, potasio, hierro, magnesio y calcio, elementos que intervienen en la composición elemental de la terracota (1). Los espectros Raman de distintas zonas de la muestra se obtuvieron con un microscopio Raman Renishaw RM1000 (magnificación 50x), utilizando un láser de diodos a 785 nm. Las bandas observadas revelan la presencia de yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y, en las zonas de evidente suciedad, carbono amorfo. La comparación de espectros LIBS y Raman de las zonas no irradiadas con las irradiadas a 1064 nm muestra la desaparición de las bandas de carbono amorfo y la transformación del yeso en anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ).

*Trabajo financiado por proyectos MCYT (BQU2000-1163-C02-01) y Comunidad de Madrid (06/134/2003). Se agradece al CSIC la concesión de un contrato I3P (M.O.) y una beca predoctoral (E.R.).*

### REFERENCIAS

- (1) J.H. Larson, M. I. Cooper, y C. Foster (1996). The use of laser energy for cleaning architectural terracotta decoration. *Architectural Ceramics; Their History, Manufacture and Conservation*, James and James, 92-100.
- (2) Conservators fine-tune optical methods for art, *Opto & Laser Europe*, Abril 2002.



## C7. UTILIZACIÓN DE HIDROFUGANTES EN CALCARENITAS: RESTAURACIÓN DE LA PORTADA DE SAN AGATÁNGELO DE LA BASÍLICA DE SANTA MARIA DE ELCHE

**M. Louis<sup>1,2</sup>; Y. Spairani<sup>2</sup>; A. Bernabéu<sup>1,3</sup> y M. A. García del Cura<sup>1,4</sup>**

<sup>1</sup> Laboratorio de Petrología Aplicada, Unidad Asociada CSIC-UA

<sup>2</sup> Dpto. de Construcciones Arquitectónicas, Universidad de Alicante, Ap. Correos 99, 03080, Alicante

<sup>3</sup> Dpto. de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante, Ap. Correos 99, 03080 Alicante

<sup>4</sup> Instituto de Geología Económica CSIC-UCM, Facultad de CC. Geológicas, Universidad Complutense, José Antonio Novais 2, 28040 Madrid

E-mail: Miguel.Louis@ua.es

La basílica de Santa María de Elche se sitúa en el centro de lo que fue la villa murada medieval, sobre los restos de lo que fue la mezquita, convertida en 1265 en templo cristiano, que fue sustituido en dos ocasiones (siglos XV y XVI) hasta llegar a 1672, año en el que F. Verde proyectó el actual templo.

Su planta es de cruz latina por lo que se organiza en una sola nave con capillas laterales entre los contrafuertes conectadas entre sí y dividida en cuatro tramos encontrándose después el crucero y la girola semicircular que se comunica con la capilla de la comunión. En su construcción intervinieron numerosos arquitectos como P. Quintana (1674-1678), J. Fauquet (1681-1719) realizando el crucero y la girola, Fray F. Raimundo (1720-1727) que ejecutó la cúpula, M. Evangelio (1754-1767) constructor de la mayor parte del templo, L. Chápuli (1783) que construyó la capilla de la comunión y J. González de Coniedo (1783) (Jaén i Urbán 1999).

La portada de San Agatángelo fue realizada por Nicolás Bussi y está situada en el muro del Evangelio. Está organizada a partir de un hueco rematado por un arco de medio punto flanqueado por dos pares de semipilastras de fuste moldurado, que sostienen un entablamento corrido. El friso tiene un escudo centrado y ménsulas que aparentan sostener la cornisa (Navarro Mallebrera 1980). El segundo cuerpo se levanta sobre el anterior con un basamento corrido y está formado por una hornacina rectangular con marco de hojarasca y hueco en arco de medio punto. En los laterales aparecen semipilastras y pirámides con bolas en el remate y un frontis curvado partido, con una escultura encima. Está realizada con una calcarenita de grano fino muy porosa con abundantes globigerínicos, algunos terrígenos y algo de glauconita. En 1973 se realizaron obras de restauración (dirigidas por D. Antonio Serrano Bru) sustituyéndose algunas piezas por una calcarenita similar aunque con fósiles mas variados (posible Piedra Bateig).

Actualmente se está realizando una intervención en la portada de San Agatángelo con cuyo motivo se ha realizado el presente trabajo, haciéndose pruebas de envejecimiento con diferentes hidrofugantes, sobre materiales procedentes de piezas que han sido sustituidas. El hidrofugante que ha presentado una mejor respuesta al envejecimiento ha sido el Tegosivin HL100 (Goldsmith), material que finalmente se ha adoptado para el tratamiento de la fachada. El hidrofugante se ha utilizado en la cara expuesta de los sillares (a), en una cara interna no expuesta (b), y en material de sustitución. Los distintos tratamientos se han aplicado por nebulización. Las probetas tratadas se han sometido a 15 ciclos de 24 horas en las siguientes condiciones: 12 h a 40° C y 80% de humedad relativa, 12h a 10° C y 60% de humedad relativa.

Además, durante cada uno de los ciclos las probetas han sido irradiadas durante 8 horas con luz UV (300-800 nm), producida por una lámpara de Xenon, con un filtro de UV. Este ensayo se ha realizado en una cámara climática Vötsch VC 4033 con un equipo Suntest CPS. Para la evaluación del ensayo se ha medido la variación del color sobre las superficies de las muestras. Sobre cada una de las muestras se ha realizado la determinación de las coordenadas cromáticas utilizando un colorímetro Minolta CR-300. Las variaciones cromáticas producidas por la aplicación del Tegosivin y su posterior envejecimiento pueden verse en la siguiente tabla.

Materiales	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
(a) sin tratar	74,08 ± 0,02	0,84 ± 0,04	14,57 ± 0,12
(a) tratado con Tegosivin	72,54 ± 0,11	1,97 ± 0,08	17,10 ± 0,05
(a) tratado y envejecido	73,43 ± 0,14	1,71 ± 0,06	16,88 ± 0,02
(b) sin tratar	78,88 ± 0,27	0,60 ± 0,03	15,55 ± 0,13
B (b) tratado con Tegosivin	7,80 ± 0,30	1,12 ± 0,10	19,19 ± 0,04
(b) tratado y envejecido	75,10 ± 0,11	0,75 ± 0,02	18,12 ± 0,01

## C8. EXCREMENTOS DE PALOMAS: UNA FUENTE POCO ESTUDIADA DE SALES EN EL PATRIMONIO

**M. Gómez-Heras<sup>1</sup>; M. Álvarez de Buergo<sup>1</sup>; D. Benavente<sup>2,3</sup> y R. Fort<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Geología Económica CSIC-UCM, Facultad de CC. Geológicas, Universidad Complutense, José Antonio Novais 2, 28040 Madrid

<sup>2</sup> Dpto. de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante, Ap. Correos 99, 03080 Alicante

<sup>3</sup> Laboratorio de Petrología Aplicada. Unidad Asociada CSIC-UA

E-mail: mgh@geo.ucm.es

Las palomas urbanas (*Columba Livia* principalmente) son una plaga común en muchas ciudades. Además del riesgo para la salud humana, sus acumulaciones de excrementos (*palomina*) suponen una amenaza para cualquier objeto que sea susceptible de daños por la acción de soluciones salinas de bajo pH. Aunque en la literatura previa los excrementos de paloma se han citado como posible fuente de sales (1), esta referencia siempre se ha dado de manera marginal y sin demostración experimental.

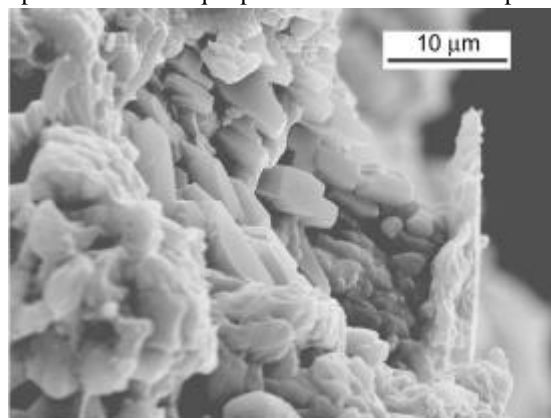
El objetivo de este trabajo fue el análisis químico y mineralógico de un concentrado de sales obtenido a partir de una acumulación de *palomina*. Para ello se hizo un muestreo en un depósito en el interior del campanario del Panteón de Hombres Ilustres de Madrid, por ser una zona no expuesta a lluvias que pudieran haber lixiviado parte del contenido salino de los excrementos.

Mediante tratamientos sucesivos con peróxido de hidrógeno y tamizado húmedo de la muestra inicial se contabilizó de una parte la fracción inorgánica insoluble mayor de 0,062 mm, que ascendió al 14,5 % en peso, y por otra el contenido total en sales solubles, que supuso un 4 % en peso.

Para el análisis de sales y pH se obtuvieron unos lixiviados de *palomina* con agua bidestilada. Por un lado un lixiviado total sin ningún tratamiento posterior y por otro lado un lixiviado sin materia orgánica mediante tratamiento con peróxido del lixiviado total. El tratamiento permitía obtener una “pasta salina” con la que se mejoraba la identificación sin que se modificaran los resultados obtenidos con el lixiviado total (2).

Las sales identificadas fueron: NaCl (halita), KCl (silvita), CaKSO<sub>4</sub>, (sin nombre), KNaSO<sub>4</sub> (aphthitalita), (Ca, Mg, Na, K)[(P,C)O<sub>4</sub>]<sub>6</sub>(F,OH,Cl)<sub>2</sub> (minerales del grupo del apatito) y CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O (weddelita). El pH del lixiviado decrece hasta un valor constante de 4,5 tras cien horas del comienzo de proceso. El ataque de una caliza porosa con el lixiviado total mostró que la interacción solución-piedra produce disolución parcial de los granos de calcita y genera nuevas sales como yeso y cloruro de calcio que ejercen un efecto destructivo en la roca por cristalización en los poros, como se observa en la figura.

Las acumulaciones de *palomina* generan por lixiviación soluciones salinas con bajo pH. Las soluciones resultantes contienen concentraciones significativas de varios tipos de sales, lo que contradice la idea tradicional en que los excrementos sólo tenían una importancia marginal como fuente de nitratos y/o fosfatos. Por ello los excrementos de paloma deben tenerse en cuenta como agente de deterioro del patrimonio, tanto de piedra como de otros materiales, no solamente en lo referente al efecto antiestético producidos por el ensuciamiento.



### REFERENCIAS

- (1) Goudie, A. & Viles, H. (1997): Salt Weathering Hazards, Wiley, Chichester, 235 p.
- (2) Gómez-Heras, M., Benavente, D., Álvarez de Buergo, M., Fort González, R. (2004): Soluble salt minerals from pigeon droppings as potential contributors to the decay of stone based Cultural Heritage. *Enr. J. Mineral.*, 16 (En prensa).

## C9. APLICACIÓN DEL MICRO-RAMAN A LA IDENTIFICACIÓN DE LOS POLIMORFOS DEL CARBONATO CÁLCICO PRESENTES EN MORTEROS DE CAL

**S. Martínez-Ramírez<sup>1</sup>; S. Sánchez-Cortés<sup>2</sup>; J.V. García-Ramos<sup>2</sup>; C. Domingo<sup>2</sup>; C. Fortes<sup>3</sup> y M.T. Blanco-Varela<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Instituto de Ciencias de la Construcción “Eduardo Torroja”, CSIC, Serrano Galvache 4, 28033 Madrid*

<sup>2</sup>*Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, Serrano 121, 28006 Madrid*

<sup>3</sup>*Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, CSIC, Campus de Cantoblanco, 28049 Madrid*

*E-mail: [sagrario@ietcc.csic.es](mailto:sagrario@ietcc.csic.es)*

El proceso de carbonatación en los materiales de construcción tiene lugar entre el CO<sub>2</sub> atmosférico y los iones calcio presentes en la disolución acuosa de los poros. En este proceso se forma carbonato cálcico que puede cristalizar en tres formas cristalinas (calcita, aragonito y vaterita), siendo la calcita la más estable.

La espectroscopía Raman es una técnica muy útil para distinguir las tres formas polimórficas del carbonato cálcico.

En este trabajo, se determina mediante micro-Raman la profundidad a la que se han formado las diferentes formas cristalinas del carbonato cálcico, en un mortero completamente carbonatado. El proceso de carbonatación se realizó en una cámara climática con aporte de CO<sub>2</sub> a 20° C y 75% de humedad relativa.

Se presenta un método nuevo para la identificación conjunta de dos o tres formas polimórficas en una misma muestra.

Finalmente se ha determinado que el tamaño del cristal de calcita oscila entre 25-30 µm.

## C10. MATERIALES PÉTREOS DEL PUENTE ROMANO DE SALAMANCA Y SU DETERIORO

**M. González-Sánchez<sup>1,2</sup>; J. García-Talegón<sup>1,2</sup>; A.C. Iñigo<sup>1,2</sup>; E. Molina<sup>1,3</sup>; V. Rives<sup>1,4</sup> y O. Lopez-Jimenez<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> *Unidad Asociada IRNA-CSIC Salamanca/Universidad de Salamanca, Salamanca*

<sup>2</sup> *Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca, Cordel de Merinas 40-52, 37008 Salamanca*

<sup>3</sup> *Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, Salamanca*

<sup>4</sup> *Departamento de Química Inorgánica, Universidad de Salamanca, Salamanca*

<sup>5</sup> *Department of Archaeology, University of Reading (Gran Bretaña)*

*E-mail: maria\_gonzalez@mixmail.com*

El Puente Romano de Salamanca sobre el río Tormes está formado por dos partes: la mitad romana (s. I d. C.) y la moderna (s. XVII). Su estructura actual es de 26 arcos, 15 de ellos romanos, contando desde la salida de la ciudad (norte), en la margen derecha hasta el castillete central. La fábrica romana se caracteriza por el almohadillado de sus sillares y la ausencia de argamasa. En esta mitad, se han distinguido 6 variedades de rocas graníticas: Vaugneritas y Tonalitas (Ledesma), Biotíticos (Los Santos), Leucogranitos y Sienitas (este Zamora y Salamanca) y Pegmatitas (Salamanca). Las principales patologías observadas: desplazación, fisuración, erosión del almohadillado, eflorescencias salinas y pátinas.

En lo que se refiere a la reconstrucción del puente en el siglo XVII, tras la gran riada de San Policarpo (1626), se utilizó un tipo de arenisca de edad pre-Eoceno (Areniscas de Salamanca, silicificadas), distintas de las eocénicas (Areniscas de Villamayor, arcósicas), que sólo aparecen en su balaustrada. Las formas de deterioro de la Arenisca de Salamanca son: pérdida de material, erosión, desplazación y eflorescencias salinas.

Se han llevado a cabo estudios mineralógicos (DRX, ATD-TG, MEB), químicos (ICP), petrográficos (MP), petrofísicos (densidad real y aparente, coeficientes de imbibición y absorción capilar, porosidad libre y total en agua), porosimetría de mercurio y color en las muestras recogidas en el Puente Romano.

*Trabajo subvencionado por el proyecto CSI08/03 de la JCyL y Proyecto MAT2000-0972-C02-01 del MCyT. A.C.I.I. y J.G.T. agradecen los contratos CSIC en el programa I3P-Doctor, financiados con el Fondo Social Europeo. M.G.S. agradece la beca predoctoral UA-BPD2002 del CSIC*

### REFERENCIAS

- (1) M. C. Jimenez, L. R. Menéndez, M. Prieto, 2000. El Puente Romano de Salamanca en las crónicas, las fuentes históricas y la historiografía. SALAMANCA Revista de Estudios, 44, 193-220.
- (2) J. M. Avila-Jalvo, 2002. Análisis constructivo del Puente Mayor de Salamanca. SALAMANCA, Revista de Estudios, 48, 51-79.
- (3) E. Jiménez-Fuentes, S. Matín-de Jesús, 1992. Sobre el material empleado en la reconstrucción del Puente Romano de Salamanca, durante el siglo XVII. Actas del I Congreso de Historia de Salamanca. II Historia Moderna. Salamanca, 363-365.
- (4) A. C. Iñigo, F. J. Moro, S. Vicente-Tavera, V. Rives, 2003. The Roman Bridge of Salamanca, Spain. Characterization for a proper restoration. Applied study of cultural heritage and clays, 59-70.

## **C11. CORROSIÓN DEL COBRE POR VAPORES DE LOS ÁCIDOS PROPIÓNICO Y BUTÍRICO**

**E. Cano; A. Echavarría; J.M. Bastidas y E.M. Mora**

*Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CSIC, Avda. Gregorio del Amo 8, 28040 Madrid*  
*E-mail: [ecano@cenim.csic.es](mailto:ecano@cenim.csic.es)*

Los ácidos orgánicos están reconocidos como unos de los principales contaminantes en interiores y, por lo tanto, como agentes de degradación del Patrimonio. En interiores de museos y exposiciones, y especialmente en vitrinas y recipientes cerrados, se han medido valores de dichos ácidos muy elevados, llegando a partes por millón (ppm). Así mismo, los daños producidos por estos ácidos sobre el Patrimonio han sido documentados en numerosas ocasiones.

En trabajos previos, los autores han estudiado la corrosión del cobre en ambientes contaminados con ácidos acético y fórmico, y han demostrado que dichos ácidos provocan una corrosión significativa. En el presente trabajo se ha tratado de completar el conocimiento sobre dichos ácidos estudiando los dos siguientes en número de átomos de carbono: el propiónico (C3) y el butírico (C4). Para ello se han expuesto probetas de cobre a una atmósfera del 100% de humedad relativa, y con contaminaciones de entre 0,1 y 100 ppm de los ácidos propiónico y butírico. La velocidad de corrosión se ha cuantificado gravimétricamente y los productos de corrosión formados se han analizado por microscopía electrónica de barrido (SEM), y difracción de rayos X (XRD).

Los resultados de velocidad de corrosión del cobre muestran que el ácido butírico es más agresivo que el propiónico. Por ejemplo, 100 ppm de ácido butírico ocasionan una velocidad de corrosión de 6,3 mdd (miligramos por decímetro cuadrado y día) frente a 3,3 mdd el propiónico. Y en ambos casos, la agresividad es menor que la de los ácidos acético y fórmico (23 y 9 mdd, respectivamente). Los productos de corrosión identificados fueron cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), hidróxido cúprico ( $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ) y propionato y butirato de cobre en presencia ácido propiónico y butírico, respectivamente.



## **C12. ANÁLISIS DE ALEACIONES DE BASE COBRE DEL CONTEXTO ARQUEOLÓGICO DE BILBILIS Y ESTUDIO DE SUS PROCESOS DE CORROSIÓN**

**M.Gener, A. Martín Costea; V. López y E. Otero.**

*Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CENIM, CSIC, Av. Gregorio del Amo 8, 28040 Madrid*

*E-mail: mcgener@cenim.csic.es*

El análisis de las piezas arqueológicas analizadas aquí y de sus procesos de corrosión se sitúa en el marco del proyecto europeo EFESTUS (INCO-MED, N° de Contrato ICA3-CT-2002-10030). Su objetivo es el estudio de procesos de corrosión específicos de grupos bien definidos de objetos base cobre provenientes de toda la cuenca mediterránea, muchos de cuyos países participan en el proyecto. La finalidad es relacionar estos procesos con las condiciones particulares del contexto arqueológico, así como con la composición y la estructura de los objetos. Este conocimiento será usado para desarrollar estrategias específicas para la conservación de objetos de aleaciones base cobre expuestos o almacenados en museos.

El contexto arqueológico español elegido para participar en este proyecto ha sido el correspondiente a la ubicación de la antigua ciudad de Augusta Bilbilis. El origen de la ciudad es celtíbero, aunque su mayor esplendor corresponde al período romano imperial. Se localiza en las inmediaciones de Calatayud, provincia de Zaragoza. Destacan entre los restos los edificios públicos: murallas, foro, teatro, termas, etc. Aunque las ruinas fueron expoliadas desde el medioevo, las excavaciones descubren vestigios y objetos de gran interés arqueológico. Entre éstos, se han seleccionado algunos fragmentos de piezas menores de base cobre correspondientes al período comprendido entre los s. I y II d.n.e.

Para estudiar el efecto del entorno sobre las aleaciones de base cobre, se han reproducido algunas de dichas aleaciones y se las ha sometido a ensayos acelerados de corrosión en contacto con el terreno a estudiar. Adicionalmente, se han colocado muestras-testigo de estas aleaciones en salas de exposición y de almacenamiento de algunos museos, juntamente con sensores para controlar la velocidad de corrosión, la humedad y la temperatura.

El estudio de las tierras en las que se encontraban enterrados los artefactos se ha llevado a cabo mediante Fluorescencia de Rayos X (XRF).

La caracterización y estudio de los objetos y sus procesos de corrosión se ha llevado a cabo mediante técnicas de microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido (SEM), mientras que los datos de análisis de los materiales y los productos de corrosión se han llevado a cabo mediante espectroscopía de energías dispersivas (EDS).

Los efectos de los ambientes, tanto atmosféricos como de enterramiento, sobre las probetas-testigo, serán analizados con técnicas electroquímicas, SEM-EDS, "Glow Discharge" y espectroscopía fotoelectrónica de rayos X (XPS).

## C13. ESTADO DE CONSERVACIÓN DE UN CONJUNTO DE EMPLOMADOS DE VIDRIERAS HISTÓRICAS DE DISTINTA PROCEDENCIA

**M. García-Heras<sup>1</sup>; M.A. Villegas<sup>1</sup>; J.M.A. Caen<sup>2</sup>; C. Domingo<sup>3</sup> y J.V. García-Ramos<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CENIM, CSIC, Avda. Gregorio del Amo, 8, 28040 Madrid

<sup>2</sup> Conservation Studio, The Royal Academy of Fine Arts, Blindestraat 9-13, B-2000 Antwerpen (Bélgica)

<sup>3</sup> Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, Serrano, 121, 28006 Madrid

E-mail: mgheras@cenim.csic.es

En las vidrieras históricas se utiliza una red de emplomado, con perfiles en forma de H, para ensamblar los vidrios coloreados en cada uno de los paneles. La flexibilidad, ductilidad y bajo punto de fusión de este material le hacen especialmente apto para este propósito. El plomo, al igual que el resto de materiales que constituyen una vidriera, está sujeto a una meteorización que resulta en el patinado de su superficie, por lo que la caracterización del efecto de la meteorización es una labor importante en los trabajos de restauración y conservación de vidrieras históricas.

En este trabajo se ha estudiado un conjunto de emplomados procedentes de vidrieras históricas de diferentes localizaciones europeas (Alemania, Bélgica, España, Holanda y Polonia) y de distintas cronologías (desde emplomados posiblemente medievales del siglo XIII, hasta emplomados más modernos de los siglos XIX y XX), con el fin de evaluar los factores que influyen en el desarrollo de las pátinas del plomo. En la caracterización de las pátinas se ha utilizado microscopía electrónica de barrido (MEB) para determinar su microestructura y composición cualitativa elemental y espectroscopía micro-Raman para determinar la estructura de las fases presentes.

Las fases detectadas fueron plomo metálico (Pb) y óxidos, carbonatos y sulfatos de plomo, variando en presencia y concentración según el grosor de la pátina formada, de la procedencia geográfica de la muestra y de los factores medioambientales a los que han estado expuestos los emplomados. Estas fases se hallan en conexión directa con los mecanismos de corrosión atmosférica del plomo en los que, primero, se oxida rápidamente formando óxidos de plomo muy adherentes para formar después carbonatos básicos de plomo por la reacción con gases atmosféricos como el CO<sub>2</sub>. Finalmente, los iones sulfato desplazan a los carbonatos en presencia de SO<sub>2</sub>, dando lugar a sulfatos de plomo. La formación de pátinas delgadas, compactas, estables y adherentes actúan como una capa de pasivación que protege al emplomado frente a la corrosión futura.

## **C14. DEGRADACIÓN Y RESISTENCIA DE ELEMENTOS METÁLICOS Y OTROS CONSTITUYENTES DE LAS VIDRIERAS DE LA CATEDRAL DE LEÓN**

**M. García-Heras<sup>1</sup>; N. Carmona<sup>2</sup>; A. Robles<sup>3</sup> y M.A. Villegas<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CSIC, CENIM, Avda. Gregorio del Amo, 8, 28040 Madrid.*

<sup>2</sup> *Fraunhofer Institut für Silikatforschung-ISC, Würzburg, Bronnbach Branch, Bronnbach 2897877 Wertheim (Alemania)*

<sup>3</sup> *Vidrieras Catedral de León S.L., Mariano Domínguez Berrueta 10, 24003 León*  
*E-mail: mgheras@cenim.csic.es*

Las vidrieras utilizadas en la Edad Media y el Renacimiento para cubrir los vanos de un gran número de iglesias y catedrales constituyen uno de los legados históricos más importantes del Patrimonio Cultural europeo. Su mal estado de conservación, debido al incremento de la contaminación atmosférica durante los últimos 50 años, hace que el estudio de los mecanismos de degradación de los diferentes materiales utilizados en su producción sea una práctica necesaria en la conservación y restauración de este rico testimonio. Aunque son muchos los estudios que se han centrado en los mecanismos de corrosión del vidrio y las grisallas (pinturas vitrificables aplicadas en su superficie), todavía existe poco interés y se conoce muy poco del estado de conservación de aquellos elementos secundarios, pero no menos importantes, como son la red de emplomado, las barras y pletinas metálicas de sujección, las masillas o los morteros.

Este trabajo presenta los resultados de un estudio sobre la degradación y la resistencia de una serie de elementos metálicos, masillas y morteros, que se ha realizado como apoyo a las labores de limpieza, restauración y conservación que se están llevando a cabo en las vidrieras de la Catedral de León. El conjunto de estas vidrieras, realizadas en la Edad Media y el Renacimiento, constituyen uno de los ejemplos más importantes del desarrollo de la vidriera en España.

La caracterización analítica completa, el diagnóstico de los procesos de deterioro, degradación y corrosión químicas, así como los ensayos de resistencia mecánica efectuados en los distintos materiales, han sido de gran ayuda en la toma de decisiones para preservar o sustituir algunos de estos elementos. En especial, aquellos que juegan un papel sustentante, como las barras y pletinas de acero, que a su vez deben soportar el sistema de acristalamiento protector exterior que se está instalando en la actualidad

## **C15. ANÁLISIS DE LA CERÁMICA DECORADA DE SAN BLAS. BASES PARA EL ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS EN EL TERRITORIO CALCOLÍTICO DE TIERRA DE BARROS (BADAJOZ) DURANTE EL 3<sup>er</sup> MILENIO A.C.**

**C. Odriozola<sup>1</sup>; A. Justo<sup>1</sup> y V. Hurtado<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, CSIC, Americo Vespucio s/n, 41092, Sevilla*

<sup>2</sup> *Departamento de Prehistoria y Arquitectura, Maria de Padilla s/n, Universidad de Sevilla, Sevilla*  
*E-mail: odrio@hotmail.com*

Durante los últimos 10 años se han venido efectuando diversas actividades arqueológicas en la Cuenca Media del Guadiana con objeto de estudiar los inicios de la complejidad social en las comunidades prehistóricas del III milenio a.C. En la comarca de Tierra de Barros se ha excavado el gran poblado y necrópolis de La Pijotilla y se está evaluando el papel que dicho asentamiento ejercía en la articulación del territorio. Además, durante los últimos tres años se ha excavado San Blas, otro gran asentamiento fortificado de la periferia, que habría controlado los recursos mineros de la zona. En este sitio se ha localizado una ciudadela interior, además de documentar una actividad metalúrgica y amplia producción cerámica correspondiente a las diferentes fases de ocupación de todo el III milenio a.C. con una densa y continua ocupación a lo largo de mil años.

En este trabajo se presenta el resultado de los análisis efectuados a cerámicas emblemáticas procedentes de una cabaña “campaniforme” hallada en San Blas, situada dentro de un recinto fortificado, un área bien diferenciada del resto del asentamiento, con hallazgos que inducen a considerarlo como un lugar de marcado carácter político-religioso. El conjunto de hallazgos de esta cabaña destaca no sólo por la gran cantidad de artefactos hallados en un mismo nivel de ocupación, sino por la calidad y variedad de los mismos, un lugar con una alta concentración de objetos de prestigio: objetos de cobre, vasos de mármol, cerámicas campaniformes, cerámicas con motivos decorativos oculados y “a peine”, etc. Los análisis realizados previamente sobre cerámicas de tipología similar halladas en La Pijotilla y otros asentamientos del territorio permiten su comparación con las halladas en San Blas y determinar si estas forman parte de un circuito de distribución controlado desde el asentamiento nuclear. Para este trabajo se ha procedido a realizar un muestreo de cerámicas y a su caracterización mineralógica por difracción de rayos X, Microscopía Electrónica de Barrido y análisis químico por Fluorescencia de Rayos X.

## **C16. CARACTERIZACION MICROESTRUCTURAL Y MICRO-ANALÍTICA POR TEM/ EDX de PORCELANAS DEL BUEN RETIRO**

**J. M. Rincón; M. Romero y M. S. Hernández**

*Grupo/Lab de Materiales Vítreos y Cerámicos, IETCC, CSIC, Madrid*

*E-mail: jrincon@ietcc.csic.es*

La antigua Real Fábrica de Porcelanas del Buen Retiro de Madrid que estuvo en producción entre los años 1759-1808 ha sido objeto de un estudio en el marco de un proyecto de investigación de la Comunidad de Madrid (expediente 06/0104/1999) en el que se han caracterizado varias muestras de piezas de artículos de mesa correspondientes al denominado periodo Sureda (1804-1808). El objetivo de esta investigación ha sido el confirmar si en el proceso de producción de dichas piezas se utilizaron intencionadamente materias primas procedentes de canteras cercanas a la fábrica. Aunque también se ha realizado un estudio general por las técnicas de difracción de rayos-X (DRX) y microscopía electrónica de barrido (MEB), se exponen y discuten en este trabajo los resultados obtenidos de la caracterización por microscopía electrónica de transmisión y microanálisis por dispersión de energías de rayos-X (MET/ EDX) de cuatro muestras cerámicas vidriadas y una no vidriada. Para ello, se ha utilizado un microscopio electrónico de transmisión de 200 kV (Jeol- 2000CX) en el que se han utilizado los métodos de observación en campo claro y en campo oscuro, así como el método de difracción de electrones de área seleccionada. En preparaciones de lámina delgada obtenidas por bombardeo iónico con Argon en un equipo Gatan Dual Ion Mill sobre las muestras vidriadas se ha detectado, junto con cristobalita y mullita, la presencia de silicatos de magnesio y confirmada por análisis de difracción de electrones sobre el eje de zona de los compuestos citados. En la muestra no vidriada se han encontrado fases cristalinas conteniendo bario por lo que dicha muestra no parece tener relación con las anteriormente citadas, pudiendo ser el resultado de experimentaciones que se realizaron en la propia fábrica en la época de Sureda.

The ancient Royal Factory of Porcelains of Buen Retiro of Madrid was in production between the years 1759-1808. In the frame of a investigation project supported by the Community of Madrid (reference 06/0104/1999) several whiteware samples corresponding principally to the called Sureda period (1804-1808) have been characterized. The aim of this investigation has been to confirm the use of raw materials from quarries near to the factory in the production process of the above mentioned pieces. Although the authors have been carried out a general study by means of X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM), this work discuss the results obtained in the characterization by transmission electron microscopy and microanalysis by dispersion of X-ray energies (MET/EDX) of four glazed ceramic samples and one not glazed. In of thin layer preparations of the glazed samples there has been detected, together with cristobalite and mullite, the presence of silicates of magnesium, confirmed by analysis of diffraction of electrons. In the not glazed sample they have found crystalline phases containing barium, which shows that it does not seem to have relation with the previous samples.

### **REFERENCIAS**

- (1) M.C. Mañueco, Manufactura del Buen Retiro 1760-1808, eds. Museo Arqueológico Nacional, M°. Educ. y Cultura, Comun. De Madrid y Caja de Ahorros del Mediterráneo, 1999, Madrid, pags: 99-143
- (2) S. de Aza y colabs., J.M. Rincón, M.S. Hernández- Crespo y otros, Las Porcelanas del Buen Retiro, Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr. 40 (2001) Mayo- Junio, 220-224
- (3) W. D. Kingery, The Development of European Porcelain, en: Ceramics and Civilization, vol: III, Ed. J. Amer. Ceram. Soc, Columbus, Ohio, 1986, pags: 153-180
- (4) J.M. Rincón and M. Romero, Characterization Techniques of Glasses and Ceramics, Ed. Springer- Verlag, Berlin, Heildelberg, Nueva York, 1999, pags: 41-80
- (5) J. M. González- Peña y D. Alvarez- Estrada, Formación de mullita a partir de silicatos de aluminio naturales estudiada fundamentalmente por SEM, Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.12 (1973) 3, 149-165.

## C17. CARACTERIZACIÓN MEDIANTE ESPECTROSCOPIA ELECTRÓNICA Y VIBRACIONAL DEL ÁCIDO CARMÍNICO, EL COLORANTE DEL NUEVO MUNDO

**M.V. Cañamares, C. Domingo; J.V. García-Ramos y S. Sánchez-Cortés**

*Instituto de Estructura de la Materia. CSIC, Serrano, 121, 28006 Madrid*

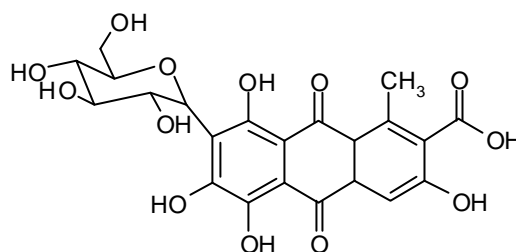
*E-mail: mvca@iem.cfmac.csic.es*

El ácido carmínico (figura 1) es un colorante orgánico procedente de Méjico, y del Centro y Sur de América, que usaban los aztecas para el teñido de tejidos y pintura artística. Tras la conquista española su uso se extendió en Europa en el siglo XVI, llegando a sustituir al quermes, otro colorante conocido desde la antigüedad (1).

El ácido carmínico es el principal componente coloreado de la cochinilla, un insecto que vive en varios tipos de cactus. Se emplea normalmente en forma de laca, llamada carmín de cochinilla de color rojo, que se obtiene por precipitación del ácido con alumbre.

Este pigmento es muy poco resistente a la luz y a la climatología, perdiendo o cambiando su color original, por lo que resulta de gran importancia su caracterización en distintas condiciones ambientales (luz, pH, etc) y el posterior estudio de su mecanismo de degradación.

En este trabajo se han empleado las espectroscopías de absorción ultravioleta-visible y las espectroscopías infrarroja, Raman y SERS para obtener información acerca de la estructura del ácido carmínico.



**Estructura del ácido carmínico.**

La espectroscopía de absorción ultravioleta-visible se ha utilizado en el estudio de los cambios de color que tienen lugar en el ácido carmínico al variar el pH del medio, y las modificaciones químicas asociadas a la ionización de dicho compuesto. Por otra parte, los espectros vibracionales (IR, Raman y SERS) proporcionan información acerca de los grupos funcionales presentes en la molécula. Estas técnicas vibracionales se han empleado en este trabajo para estudiar los cambios estructurales del colorante en las diferentes condiciones experimentales estudiadas: pH, concentración, interacción con superficies metálicas y con proteínas de la clara de huevo, empleada usualmente como aglutinante pictórico (2).

### REFERENCIAS

- (1) H. Schweppe y H. Roosen-Runge. Carmine-Cochineal Carmine and Kermes Carmine in Artists' Pigments. A Handbook of their History and Characteristics. Vol. 1. Robert L. Feller, Editor. Cambridge University Press (1986).
- (2) M. Matteini y A. Moles. La química en la restauración. Los materiales del arte pictórico. Editorial Nerea. Junta de Andalucía-Consejería de Cultura-Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (2001).

## **C18. ESTUDIO DE MORTEROS Y PIGMENTOS PROCEDENTES DE LAS FACHADAS DE LA IGLESIA PARROQUIAL DE SAN BARTOLOMÉ DE SEVILLA**

**M.B. Sigüenza Carballo; A. Durán Benito; M. C. Jiménez de Haro; A. Justo Erbez y J. L. Pérez Rodríguez.**

*Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, CSIC, Avda. Américo Vespucio s/n, Isla de la Cartuja, 41092 Sevilla*

*E-mail: belinda@icmse.csic.es*

### **INTRODUCCIÓN**

La parroquia de San Bartolomé, edificación neoclásica inaugurada en 1806, según el proyecto de José Echamorro está ubicada en el barrio de San Bartolomé que, junto al de Santa Cruz, conformaban la antigua Judería sevillana. Esta Iglesia tiene planta de cruz latina, con cúpula semiesférica sobre tambor octogonal. En los últimos años el barrio de San Bartolomé ha experimentado un complejo proceso de rehabilitación, habiéndose recuperado tan importante sector del centro histórico de Sevilla. La última fase de la restauración de la Iglesia comprende la reposición de sus fachadas.

### **METODOLOGÍA**

Las muestras estudiadas corresponden a revestimientos localizados en las fachadas exteriores tanto de la iglesia como de la torre. Se ha determinado su composición mineralógica, identificación de pigmentos, determinación de valores cromáticos, contenido en carbonatos, presencia de cloruros y sulfatos, granulometría y caracterización textural. Las técnicas de análisis aplicadas han sido Microfotografía Óptica, Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) con Análisis por Energía Dispersiva de Rayos X (EDX), Espectroscopía y Microscopía de Infrarrojos (IR), Espectroscopía Raman, Difracción de Rayos X (DRX).

### **RESULTADOS**

El contenido en carbonato cálcico de los morteros estudiados oscila entre el 46,00 y el 60,80%. El estudio granulométrico llevado a cabo indica un predominio de la fracción de tamaño superior a 65 µm. Se ha detectado la presencia de yeso en las capas más externas del mortero disminuyendo su contenido a medida que se profundiza en el mismo. El árido predominante es cuarzo observándose en algunas muestras pequeñas cantidades de feldespato y mica. El pigmento de color rojo está formado por hematites mientras que el color ocre está compuesto por óxidos de hierro hidratados.

### **AGRADECIMIENTOS**

A la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía.



## C19. MÉTODOS ACÚSTICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE UMBRALES DE ABLACIÓN DE PIGMENTOS

**M. Jadraque y M. Martín**

*Instituto de Química Física Rocasolano, Serrano 119, 28006 Madrid*

*E-mail: m.jadraque@iqfr.csic.es, mmm@iqfr.csic.es*

Las aplicaciones de técnicas basadas en la ablación láser a la limpieza de obras artísticas compuestas por una amplia variedad de materiales (1), ha impulsado el estudio de los efectos fotoquímicos producidos por la interacción de la radiación láser con los materiales.

Durante el proceso de limpieza, una fracción de la energía láser puede alcanzar las zonas pigmentadas produciendo un daño. Por eso, es preciso averiguar cuales son los efectos químico-físicos inducidos por la interacción láser en los pigmentos, caracterizar el daño, determinar las condiciones en que se genera y saber si es reversible o presenta efectos a largo plazo. Por tanto, para diseñar un procedimiento óptimo de limpieza láser se debe partir del conocimiento de los umbrales de ablación de los materiales. La detección de la señal acústica que se produce cuando un material es ablacionado es un procedimiento muy sensible para determinar umbrales de ablación (2).

En este trabajo se presenta una técnica acústica sencilla para la determinación de los umbrales de ablación de los siguientes pigmentos: Azurita ( $2\text{Cu}(\text{CO}_3) \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ), Blanco de Plomo ( $2\text{Pb}(\text{CO}_3) \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ ), Cromato de Plomo ( $\text{PbCrO}_4$ ) y Óxido de zinc ( $\text{ZnO}$ ). Con la ayuda de un micrófono se recoge la señal acústica emitida durante la ablación a distintas fuencias y a distintas longitudes de onda. Las muestras utilizadas son pastillas de pigmentos puros y dispersados en témpera al huevo con barniz de almáciga. Se comparan los resultados con el fin de optimizar las condiciones de limpieza láser de pinturas artísticas.

*Trabajo financiado por proyecto MCYT (BQU2000-1163-C02-01).*

### REFERENCIAS

- (1) M. Castillejo, M. Martín, M. Oujja, D. Silva, R. Torres, A. Monousaki, V. Zafirooulos, O. van den Brink, R.M.A. Heeren, R. Teule, A. Silva, H. Gouveia. *Anal. Chem.* 74 (2002) 4662.
- (2) J. Krüger, H. Niino, A. Yabe. *Appl. Surf. Sci* 197-198 (2002) 800-804.

## **C20. ESTUDIO CIENTIFICO DE PINTURAS MURALES GOTICAS (S. XIII-XV) PROCEDENTES DE ESLOVENIA: EL ENCUENTRO ENTRE LAS CORRIENTES ITALIANAS Y NORTEUROPEAS**

**A. Kriznar<sup>2</sup>; J. Höfler<sup>2</sup>; M.A. Avilés<sup>1</sup>; E. Jiménez<sup>1</sup>; A. Ruiz Conde<sup>1</sup> y P.J. Sánchez Soto**

<sup>1</sup>*Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, Centro Mixto CSIC-Universidad de Sevilla, Américo Vespucio s/n, 41092 Isla de la Cartuja, Sevilla*

<sup>2</sup>*Departamento de Historia del Arte, Universidad de Ljubljana, Ljubljana (Eslovenia)*

*E-mail: pedroji@icmse.csic.es*

El presente trabajo forma parte de un estudio más amplio sobre una serie de muestras procedentes de pinturas murales góticas (S. XIII-XV) y sus soportes que se encuentran en el interior de varias iglesias de Eslovenia. Una de ellas está situada en la ciudad de Crngrob y se ha seleccionado como objeto de este estudio. Se trata de la Iglesia de la Anunciación de María, con escenas de la Pasión de Cristo y la vida de la Virgen y que no habían sido estudiadas, hasta la fecha, por medio de técnicas instrumentales de análisis de materiales. Esta investigación es el objetivo principal de una cooperación entre investigadores de Eslovenia y España, además de una parte del estudio sobre pigmentos inorgánicos cerámicos que se aborda en un Proyecto de Investigación, concedido el pasado año dentro del Plan Nacional de Materiales, y en el cual participan conjuntamente personal científico y técnico de dos Grupos de investigación de la Red Temática.

En general, se trata de pinturas superpuestas sobre otras más antiguas. Unas se clasifican entre 1400-1410, atribuidas al taller de Skofja Loka con pintores procedentes de la región de Furlania, y otras algo más posteriores (1453) atribuidas al maestro Bolfgang, de raíces norteeuropeas. Existen inicialmente diferencias apreciables en cuanto a los morteros de soporte. Con las investigaciones puestas en marcha se intentan distinguir posibles diferencias en la técnica de pintar, en la naturaleza de los pigmentos usados y en la composición de los morteros. Las muestras fueron tomadas de los fragmentos de frescos caídos de las paredes durante los respectivos trabajos de descubrimiento y restauración que se han conservado y proceden del Departamento de Historia del Arte de la Facultad de Filosofía de la Universidad de Ljubljana en Eslovenia. Además, se han realizado diversas tomas de muestras *in situ* que también se han incluido en este estudio más general.

El estudio científico de las muestras se basó, principalmente, en la preparación de una serie de estratigrafías a partir de los trozos pequeños de las muestras. Esto permitió observar las diferentes capas de mortero soporte y de la propia pintura. Se examinaron dichas preparaciones por distintas técnicas, como son fotografía digital, microscopías óptica y electrónica (MEB), espectroscopía IR y análisis químico por EDS. Una información adicional se obtuvo mediante espectroscopía IR por transmisión, preparando pastillas con KBr y una pequeña cantidad de muestra, pigmentos separados en la mayoría de los casos. Asimismo, se ha empleado la difracción de rayos X (DRX) para el examen de muestras de pigmentos y morteros molidas finamente donde la cantidad lo permitía.

Los resultados obtenidos han permitido caracterizar e identificar los morteros y pigmentos inorgánicos empleados y que son apropiados para pinturas murales, principalmente blancos, rojos, grises, negros y azules. Se han empleado óxidos de hierro para amarillo, naranja, rojo y verde, pero no se ha encontrado malaquita ni existen indicios de compuestos de cobre para el color verde. En capas más antiguas se ha encontrado cinabrio para el color rojo, típico de Italia. En algunas zonas, se convirtió en negro, aunque en otras se ha detectado la presencia de carbón.

Las muestras estudiadas pueden clasificarse en dos grupos que, a su vez, permiten apreciar las dos formas de pintura mural que se dan en territorio esloveno. La primera es típica para pintura italiana gótica: *fresco buono* sobre varias capas de mortero, con empleo de polvo de mármol para hacerlo más liso y blanco. Las pinturas fueron realizadas sin emplear otro aglutinante que la propia cal procedente del mortero. Estas características y el empleo de cinabrio, sitúan las pinturas del 1400-1410 en la corriente artística italiana del Trecento. La segunda manera es típica del norte de Europa: técnica de una o dos capas de mortero, con una capa fina de cal superpuesta para dar mayor fuerza a la cal del mortero como aglutinante. Aparte, se empleaban otros aglutinantes orgánicos para los pigmentos.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en este estudio sobre los dos tipos de muestras estudiadas, se llega a la siguiente conclusión: las corrientes italiana y norteeuropea se encontraron en territorio esloveno, lo que se aprecia tanto desde el punto de vista estilístico como atendiendo a la técnica de ejecución de las pinturas.

*Se agradece al Ministerio de Asuntos Exteriores la Beca AECI concedida a A. Kriznar y la financiación de este estudio al MCYT, Proyecto de investigación MAT2002-02549, mencionando que parte de esa financiación procede de FEDER.*

## C21. DATACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ARQUETAS DE MADERA DECORADAS: APLICACIÓN DE LA ESPECTROSCOPIA RAMAN A LA DETERMINACIÓN DE PIGMENTOS Y SOPORTES

**M.P. Aguiló<sup>1</sup>; M.V. Cañamares<sup>2</sup>; J.V. García-Ramos<sup>2</sup> y C. Domingo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Historia, CSIC, Duque de Medinaceli, 6, 28014 Madrid

<sup>2</sup> Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, Serrano 121, 28006 Madrid

E-mail: p.aguiló@ih.csic.es

La datación de piezas de mobiliario presenta indudables problemas por la variedad de sus componentes, en esencia madera y metal, con recubrimientos pictóricos, dorados, lacas y barnices. La agresividad de la toma de muestras de la madera, imposibilita por el momento el estudio completo del material básico, por lo que hemos optado por analizar las diversas capas pictóricas de dos arquetas españolas, pertenecientes según la documentación de origen a los siglos, XIV/XV una y XVI la segunda, para intentar dirimir a que épocas pertenecen varias capas superpuestas. La primera, de origen catalán, estaba recubierta por una capa de óleo, sobre lienzo en alguna de sus caras. Una vez limpiada por el propietario una de las caras, apareció una pintura diferente, realizada en un solo color con una decoración geométrica de tipo mudejarizante, representando a los costados a San Juan y a la Virgen, por lo que suponíamos que el frente debería llevar una imagen eucarística, aunque por fotos antiguas observamos una decoración distinta, meramente geométrica que podría ser una tercera capa aplicada en época reciente. La segunda pieza, dorada y con unos jarrones pintados, ofrecía muchas más dudas estilísticas y materiales al haber sido, redorada y policromada en varias ocasiones. Realizamos diversos análisis visuales y con lámpara ultravioleta antes de utilizar la espectroscopía Raman.

Los espectros Raman han sido obtenidos con un espectrómetro FT, Bruker RFS 100, utilizando un láser de Nd:YAG a 1064 nm. Las potencias de láser empleadas están entre 10 y 100 mW, dependiendo de la fluorescencia de las muestras, sin que en ningún caso se haya observado deterioro de la zona de la arqueta (menor de 2 mm<sup>2</sup>) donde ha incidido el láser.

Los resultados obtenidos han permitido identificar los siguientes compuestos:

a) arqueta policromada: tanto en la cara frontal previamente limpiada como en los laterales, se encuentra que el color rojo es bermellón (HgS), el amarillo es oropimento (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) y el negro es negro marfil (banda de fosfato a 961 cm<sup>-1</sup>). Se detectan además yeso (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O) y anhidrita, (CaSO<sub>4</sub>) – el llamado “yeso gris” - y blanco de plomo (2PbCO<sub>3</sub>·Pb(OH)<sub>2</sub>). Otros colores presentes resultan de mezclas de los anteriores. En el interior de la tapa, se detecta también bermellón e indicios de azul índigo (C<sub>16</sub>H<sub>10</sub>N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) en la parte oscura, y oropimento en las estrellas amarillas. En el exterior de la tapa se encuentra calcita (CaCO<sub>3</sub>), barita (BaSO<sub>4</sub>), massicot (PbO), utilizado probablemente como agente secante, “tierra verde” (aluminosilicato) y carbón amorfo. La detección de barita permite hablar de un repinte en esta parte de la arqueta hecho en el siglo XIX. Además, en todas las partes examinadas, excepto en la parte exterior de la tapa, y de mayor intensidad en las partes no limpiadas, se detecta una banda Raman muy ancha centrada a 770 cm<sup>-1</sup> y asignable a aluminato de calcio (CaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) utilizado en la preparación de los soportes.

b) arqueta dorada: en las zonas de la parte exterior a las que se pudo acceder (debido a las limitaciones físicas de la cámara de muestras del espectrómetro Raman) solo se detectó yeso y carbon amorfo, este último debido probablemente a suciedad. El color rojo de la parte interior de la arqueta resultó ser debido a bermellón.

De los resultados de los análisis Raman y de los estudios estilísticos se concluye que la primera de ellas, perteneciente sin duda a finales del siglo XIV, presenta los pigmentos puros, utilizando una finísima capa de yeso como imprimación, mientras que el resto que estilísticamente pertenece a los últimos años del siglo XVII o principios del XVIII, ha utilizado diversos componentes de origen orgánico como puede ser el lienzo y el óleo y que incluso la pintura aplicada en toda ella, resulta ser anterior a 1900, ya que se advierten los mismos elementos, sin restauraciones pictóricas modernas. La arqueta dorada, pese a las dificultades expuestas por el manejo físico, al presentar el mismo bermellón, nos permite fecharla antes de finales del siglo XIX, aunque como ya se ha dicho anteriormente el análisis estilístico y visual de los elementos imposibilita su adscripción al siglo XVI, en que estaba datada.

*Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Comunidad de Madrid (Proyecto 06/0134/2003).*

## C22. BIODETERIORO DE PELICULAS CINEMATOGRAFICAS: BIODEGRADACIÓN DE GELATINAS POR BACTERIAS

**C. Abrusci<sup>1</sup>; A. Martín-González<sup>1</sup>; A. Del Amo<sup>2</sup> y F. Catalina<sup>3</sup>**

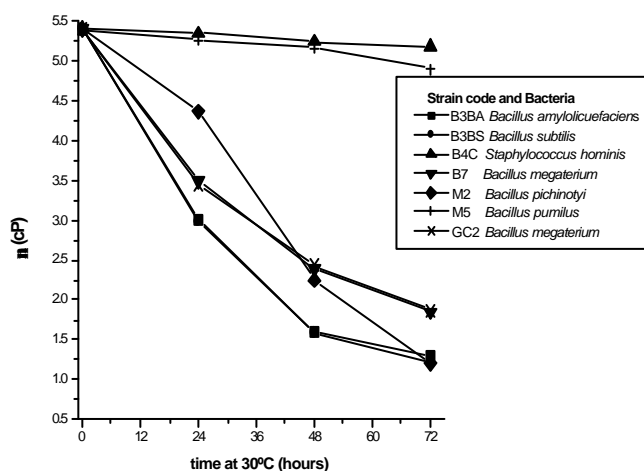
<sup>1</sup>Departamento de Microbiología III, Facultad de Biología, Universidad Complutense de Madrid, José Antonio Novais, 2, 28040 Madrid

<sup>2</sup>Filmoteca Española, Instituto de la Cinematografía y de las Artes Audiovisuales, Magdalena 10, 28012 Madrid

<sup>3</sup>Departamento de Fotoquímica, Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros, CSIC, Juan de la Cierva 3, 28006 Madrid

E-mail: cabrusci@bio.ucm.es

El material depositado en los archivos cinematográficos constituye una importante parte del Patrimonio histórico y cultural de nuestro país y que requiere condiciones adecuadas de conservación, que han sido objeto de numerosos estudios<sup>(1)</sup>. La conservación, en términos de temperatura y humedad ha sido muy estudiada en las películas de nitrato de celulosa (“celuloide”) y en las de triacetato de celulosa (“síndrome del vinagre”), sin embargo, en cuanto al biodeterioro existía una laguna de conocimiento. En los documentos técnicos de Kodak<sup>(2)</sup>, para la conservación, se especifica que a humedades relativas superiores al 60% se puede producir la aparición de microorganismos en la gelatina con el consiguiente biodeterioro de la imagen. Por ello, promovido por Filmoteca española y patrocinado por los laboratorios Fotofilm-Madrid se están llevando a cabo trabajos de aislamiento e identificación de bacterias y hongos presentes en muestras de películas procedentes de los archivos de Barcelona, Gran Canaria y Madrid. También se están realizando los estudios de biodegradación de los diferentes constituyentes polímeros y aditivos de las películas empleando diversas técnicas. En este Trabajo presentaremos los resultados que se han obtenido en la biodegradación de gelatina fotográfica<sup>(3)</sup> (Tipo-B y de resistencia de gel o valor Bloom alto 225g) por las diferentes bacterias caracterizadas a partir de las muestras procedentes de los archivos. A título ilustrativo, en la figura adjunta, se muestran los resultados de eficiencia de biodegradación a 30°C de algunas bacterias aisladas en este Trabajo. Se representa la variación de la viscosidad de la gelatina en disolución (6.67% a 37°C y 25x10<sup>6</sup> células/mL) en función del tiempo de biodegradación. El estudio<sup>(4)</sup> se ha llevado a cabo a diferentes temperaturas, obteniendo variaciones en las eficiencias de degradación y pudiendo observar un efecto de sinergia de biodegradación ente los *Bacillus amylicuefaciens* y *B. subtilis*. A partir de las medidas de viscosidad se han determinado otros parámetros que han permitido evaluar la “peligrosidad” de las bacterias aisladas frente a la gelatina.



### REFERENCIAS

- (1) F. Catalina, A. Del Amo, Cuadernos de la Filmoteca, FIAF Madrid, 1999, Ed. Ministerio de Educación y Cultura. ISBN: 84-86877-21-0.
- (2) Kodak Publication AE-22 “Prevention and Removal of Fungus on Prints and Films”.
- (3) C. Abrusci, A. Del Amo, A. Martín-González, F. Catalina, Rev. Plást. Mod., **82**, 675, 2001; C. Abrusci, A. Martín-González, A. Del Amo, F. Catalina, P. Bosch, T. Corrales, J. Photochem. Photobiol., A:Chem, en prensa, 2004.
- (4) C. Abrusci, A. Martín-González, A. Del Amo, T. Corrales, F. Catalina, Polym. Deg. Stabil., enviado, 2004.

## C23. IDENTIFICACIÓN DE TINTAS Y SU ESTRATIGRAFÍA EN GRABADOS ARTÍSTICOS MEDIANTE LA TÉCNICA LIBS

A. Vila<sup>1</sup>; M. Ouja<sup>2</sup>; E. Rebollar<sup>2</sup>; J.F. García<sup>1</sup> y M. Castillejo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Departament de Pintura, Conservació-Restauració, Facultat de Belles Arts, Universitat de Barcelona, Pau Gargallo 4, 08028 Barcelona*

<sup>2</sup> *Instituto de Química Física Rocasolano, CSIC, Serrano 119, 28006 Madrid*  
*E-mail: m.ouja@iqfr.csic.es; marta.castillejo@iqfr.csic.es*

Los grabados artísticos están constituidos por un soporte de papel sobre el que se disponen una o más capas de tinta organizadas según criterios artísticos. El proceso de producción incluye la utilización de una matriz original, que contiene el diseño del artista, y de tintas que son aplicadas sobre el soporte de papel mediante presión. Este proceso permite la obtención de múltiples grabados originales a partir de una única matriz. Este método de producción es el origen de que los grabados sean una de las tipologías de obra artística más ampliamente difundidas y por ello, también, más ampliamente falsificadas. La discriminación entre un grabado original y uno falso puede, en muchos casos, realizarse a partir de aspectos estilísticos. Sin embargo, en algunas ocasiones es necesaria información adicional sobre la naturaleza y disposición estructural de los materiales constitutivos para alcanzar este propósito. La caracterización material y estructural de las obras de arte presenta, frente a otros problemas analíticos, la restricción derivada de la mínima o nula cantidad de muestra disponible.

En este trabajo se presentan los resultados correspondientes a la aplicación de la técnica LIBS (*Laser Induced Breakdown Spectroscopy*) para la determinación de la composición y estratigrafía de las capas de tinta sobre papel utilizadas en la realización de grabados. Se utilizaron muestras modelo constituidas por un soporte de papel Arches y una o dos capas de tinta. Las tintas seleccionadas, entre las empleadas habitualmente en los grabados artísticos, fueron los azules Ultramar (complejo sulfúrico con contenido de alúmino silicato sódico), Océano (mezcla que contiene azul Ultramar, dióxido de titanio y ftalocianina de cobre) y de Prusia (ferrocianuro) y los negros de humo y de huesos. Los espectros LIBS fueron obtenidos con excitación láser a 1064 nm en el rango de 250-600 nm con un espectrógrafo de 0.30 m (TMC300 Bentham, 1200 líneas/mm) acoplado a una cámara ICCD (2151 Andor Technologies). Los espectros permitieron identificar la composición elemental de cada una de las tintas y seleccionar los elementos atómicos (o diatómicos en algunos casos) diferenciadores de cada tipo de tinta. Estos elementos son: Cu, Na y Fe para los azules de Océano, Ultramar y Prusia respectivamente, y C<sub>2</sub> y Ca para los negros de humo y huesos respectivamente. En las muestras de dos capas de tinta, la aplicación de pulsos láser consecutivos sobre una misma zona de la muestra permitió revelar la estratigrafía y por tanto el orden en que las capas de tintas han sido aplicadas. Este factor es altamente relevante para la autenticación de este tipo de expresión artística.

*Trabajo financiado por proyectos MCYT (BQU2000-1163-C02-01) y Comunidad de Madrid (06/134/2003). Se agradece al CSIC la concesión de un contrato I3P (M.O.) y una beca predoctoral (E.R.).*

## **C24. UN PROYECTO DE REVALORIZACIÓN DEL FONDO ANTIGUO DE QUÍMICA EXISTENTE EN LAS BIBLIOTECAS DEL CSIC. ALGUNOS RESULTADOS PRELIMINARES**

**J. Pérez Pariente**

*Instituto de Catálisis y Petroleoquímica, CSIC, Marie Curie s/n, 28049 Cantoblanco, Madrid*  
*E-mail: jperez@icp.csic.es*

Las bibliotecas del CSIC albergan entre sus fondos antiguos (obras generalmente anteriores a 1800) un elevado número de documentos relevantes para el estudio de la historia de las Ciencias de la Naturaleza, y en particular para la historia de la Química. La clasificación por materias de los fondos antiguos posee una problemática especial, ya que la mayoría de esas obras fue realizada en épocas previas a la definición de las disciplinas científicas que conocemos en la actualidad. Esta problemática incide de manera especial en el campo de la química, ya que en los complejos orígenes de esta ciencia confluyen actividades y corrientes de pensamiento que en muchos casos apenas tienen relación con la química tal y como se concibe hoy en día. Una prospección preliminar de esos fondos (1) mostró que un número considerable de obras relacionadas con la química se encuentra catalogada bajo una amplia variedad de distintas categorías de clasificación, de las que se identificaron al menos una veintena, que en muchos casos poco o nada tienen que ver con esta disciplina. Este fenómeno distorsiona la correcta apreciación del patrimonio bibliográfico de la institución, y dificulta enormemente el uso adecuado de este valioso fondo antiguo con propósitos de investigación. Partiendo de esta situación, y de los catálogos ya existentes, este proyecto tiene como objetivo realizar, en una primera etapa, un censo de todas las obras del fondo antiguo del CSIC relacionadas con la química. Más a largo plazo, se pretende elaborar una “Biblioteca Química”, un catálogo razonado que sirva como herramienta de investigación de la historia de esta disciplina, y contribuya a revalorizar y difundir el patrimonio bibliográfico de la institución.

Tomando como punto de partida el estudio preliminar mencionado anteriormente, se solicitó a la Unidad de Coordinación de Bibliotecas del CSIC (2) un listado de obras impresas del fondo antiguo de materias como química, metalurgia, medicamentos, alquimia, y otras similares. Además, se ha hecho uso del catálogo de obras de los siglos XV-XVIII pertenecientes a la biblioteca del Museo de Ciencias Naturales. Los autores de este último catálogo especifican las obras de consulta empleadas con el propósito de identificar y catalogar los impresos del fondo histórico del Museo. Se ha constatado que entre esas obras no figuran dos de los catálogos especializados más completos en obras impresas de química anteriores al siglo XIX, los de Duveen (3) y Ferguson (4). Ambos catálogos han sido las dos referencias básicas utilizadas en este estudio para valorar el contenido de carácter químico de cada obra, y complementar la asignación de materias a las obras recopiladas en el listado y el catálogo del Museo..

Un análisis preliminar de la información disponible indica que el CSIC dispone de un volumen de obras relacionadas con la química pertenecientes al fondo antiguo muy superior al que una consulta convencional de sus bases de datos permite identificar. Aunque el estudio está aún en su fase inicial, es probable que las bibliotecas de la institución alberguen al menos dos centenares de volúmenes relevantes para la historia de la química anteriores a 1800, lo que supone duplicar probablemente el número total de obras impresas de esta materia. Se ha detectado, por ejemplo, la existencia de un fondo importante de obras englobadas dentro de la materia “medicamentos”, que tratan del desarrollo de la medicina química en el siglo XVII, pero que sin embargo aparecen desvinculadas de la química. Además, la consulta de los dos catálogos mencionados anteriormente ha permitido identificar a los autores de algunos textos cuya autoría permanecía sin atribuir.

### **REFERENCIAS**

- (1) Póster presentado en la 3ª Reunión de la Red Temática. 19-20 de Junio 2003.
- (2) Agradezco a Agnès Ponsati Obiols, Directora de la Unidad de Coordinación de Bibliotecas del CSIC las facilidades dadas para la realización de este proyecto.
- (3) D.I.Duveen, *Bibliotheca Alchemica et Chemica*, 1946
- (4) J. Ferguson, *Bibliotheca Chemica*, 1906.



## PARTICIPANTES

### **Abrusci, Concepción**

Departamento de Microbiología III  
Facultad de Biología, Universidad Complutense de Madrid  
c/ José Antonio Novais 2, 28040 Madrid  
E-mail: [cabrusci@bio.ucm.es](mailto:cabrusci@bio.ucm.es)

### **Aguiló, M<sup>a</sup> Paz**

Instituto de Historia  
c/ Duque de Medinaceli 6, 28014 Madrid  
E-mail: [p.aguilo@ih.csic.es](mailto:p.aguilo@ih.csic.es)

### **Álvarez de Buergo, Mónica**

Instituto de Geología Económica. Unidad Asociada CSIC-UCM  
Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid  
c/ José Antonio Novais 2, 28040 Madrid  
E-mail: [alvarezm@geo.ucm.es](mailto:alvarezm@geo.ucm.es)

### **Arce, Fernando**

Instituto de Historia de Madrid, CSIC  
c/ Duque de Medinaceli 6, 28014 Madrid

### **Arnaiz, Virginia**

Patrimonio Nacional  
c/ Bailén s/n (Palacio Real de Madrid)  
E-mail: [laboratorioquimico@patrimonionacional.es](mailto:laboratorioquimico@patrimonionacional.es)

### **Baglietto, Pilar**

Patrimonio Nacional  
c/ Bailén s/n (Palacio Real de Madrid)  
E-mail: [laboratorioquimico@patrimonionacional.es](mailto:laboratorioquimico@patrimonionacional.es)

### **Barrigas, Inés**

Patrimonio Nacional  
c/ Bailén s/n (Palacio Real de Madrid)  
E-mail: [laboratorioquimico@patrimonionacional.es](mailto:laboratorioquimico@patrimonionacional.es)

### **Bastidas, José María**

Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CSIC  
Avda. Gregorio del Amo 8, 28040 Madrid  
E-mail: [bastidas@cenim.csic.es](mailto:bastidas@cenim.csic.es)

### **Benavente, David**

Laboratorio de Petrología Aplicada. Unidad Asociada CSIC-Universidad de Alicante  
Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente  
Universidad de Alicante. Ap. 99, 03080 Alicante  
E-mail: [david.Benavente@ua.es](mailto:david.Benavente@ua.es)



**Bernabeu, Ana**

Laboratorio de Petrología Aplicada. Unidad Asociada CSIC-Universidad de Alicante  
Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente  
Universidad de Alicante. Ap. 99, 03080 Alicante  
E-mail: [Ana.Bernabeu@ua.es](mailto:Ana.Bernabeu@ua.es)

**Blanco, María Teresa**

Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, CSIC  
c/ Serrano Galvache 4, 28033 Madrid  
E-mail: [blancomt@ietcc.csic.es](mailto:blancomt@ietcc.csic.es)

**Bosch, Paula**

Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros, CSIC  
c/ Juan de la Cierva 3, 28006 Madrid  
E-mail: [pbosch@ictp.csic.es](mailto:pbosch@ictp.csic.es)

**Cano, Emilio**

Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CSIC  
Avda. Gregorio del Amo 8, 28040 Madrid  
E-mail: [ecano@cenim.csic.es](mailto:ecano@cenim.csic.es)

**Cañamares, M<sup>a</sup> Vega**

Instituto de Estructura de la Materia, CSIC  
c/ Serrano 121, 28006 Madrid  
E-mail: [mvca@iem.cfmac.csic.es](mailto:mvca@iem.cfmac.csic.es)

**Carmona, Noemí**

Fraunhofer-Institut für Silicatforschung (ISC)  
Bronnbach 28, 97877 Wertheim, Alemania  
E-mail: [carmona@isc.fhg.de](mailto:carmona@isc.fhg.de)

**Carmona, Paula**

Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, CSIC  
c/ Serrano Galvache 4, 28033 Madrid  
E-mail: [paulacq@ietcc.csic.es](mailto:paulacq@ietcc.csic.es)

**Castillejo, Marta**

Instituto de Química Física Rocasolano, CSIC  
c/ Serrano 119, 28006 Madrid  
E-mail: [marta.castillejo@iqfr.csic.es](mailto:marta.castillejo@iqfr.csic.es)

**Catalina, Fernando**

Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros, CSIC  
c/ Juan de la Cierva 3, 28006 Madrid  
E-mail: [fcatalina@ictp.csic.es](mailto:fcatalina@ictp.csic.es)

**Cuezva, Soledad**

Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC  
c/ José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid  
E-mail: [scuezva@mncn.csic.es](mailto:scuezva@mncn.csic.es)

**Domingo, Concepción**

Instituto de Estructura de la Materia, CSIC

c/ Serrano 121, 28006 Madrid

E-mail: [cdomingo@iem.cfmac.csic.es](mailto:cdomingo@iem.cfmac.csic.es)

**Durán, Adrián**

Instituto de Ciencia de Materiales, CSIC

c/ Américo Vespucio s/n, 41092 Sevilla

E-mail: [adrian@icmse.csic.es](mailto:adrian@icmse.csic.es)

**Fort, Rafael**

Instituto de Geología Económica, Unidad Asociada CSIC-UCM

Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid

c/ José Antonio Novais 2, 28040 Madrid

E-mail: [rafort@geo.ucm.es](mailto:rafort@geo.ucm.es)

**García, Jacinta**

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca

c/ Cordel de Merinas 40-52, 37008 Salamanca

E-mail: [talegon@usal.es](mailto:talegon@usal.es)

**García del Cura, M<sup>a</sup> Ángeles**

Instituto de Geología Económica. Laboratorio de Petrología Aplicada, Unidad Asociada CSIC-UA

Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid

c/ José Antonio Novais 2, 28040 Madrid

E-mail: [agcura@geo.ucm.es](mailto:agcura@geo.ucm.es)

**García-Heras, Manuel**

Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CSIC

Avda. Gregorio del Amo 8, 28040 Madrid

E-mail: [mgheras@cenim.csic.es](mailto:mgheras@cenim.csic.es)

**García-Ramos, José Vicente**

Instituto de Estructura de la Materia, CSIC

c/ Serrano 121, 28006 Madrid

E-mail: [imtg160@iem.cfmac.csic.es](mailto:imtg160@iem.cfmac.csic.es)

**Gener, Marc**

Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CSIC

Avda. Gregorio del Amo 8, 28040 Madrid

E-mail: [mcgener@cenim.csic.es](mailto:mcgener@cenim.csic.es)

**Gómez, Miguel**

Instituto de Geología Económica. Unidad Asociada CSIC-UCM

Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid

c/ José Antonio Novais 2, 28040 Madrid

E-mail: [mgh@geo.ucm.es](mailto:mgh@geo.ucm.es)

**Gómez, José David**

Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros, CSIC

c/ Juan de la Cierva 3, 28006 Madrid

E-mail: [davidg@ictp.csic.es](mailto:davidg@ictp.csic.es)

**González, Juan Miguel**

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla

Apdo. 1052, 41080 Sevilla

E-mail: [jmgrau@irnase.csic.es](mailto:jmgrau@irnase.csic.es)

**González, María**

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca

c/ Cordel de Merinas 40-52, 37008 Salamanca

E-mail: [maria\\_gonzalez@mixmail.com](mailto:maria_gonzalez@mixmail.com)

**Hernández, M<sup>a</sup> Soledad**

Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, CSIC

c/ Serrano Galvache 4, 28033 Madrid

E-mail: [mshernandez@ietcc.csic.es](mailto:mshernandez@ietcc.csic.es)

**Iñigo, Adolfo Carlos**

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca

c/ Cordel de Merinas 40-52, 37008 Salamanca

E-mail: [adolfo@usal.es](mailto:adolfo@usal.es)

**Jadraque, María**

Instituto de Química Física Rocasolano, CSIC

c/ Serrano 119, 28006 Madrid

E-mail: [m.jadraque@iqfr.csic.es](mailto:m.jadraque@iqfr.csic.es)

**Jiménez de Haro, M<sup>a</sup> Carmen**

Instituto de Ciencia de Materiales, CSIC

c/ Américo Vespucio s/n, 41092 Sevilla

E-mail: [cjimenez@cica.es](mailto:cjimenez@cica.es)

**Jurado, Valme**

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla

Apdo. 1052, 41080 Sevilla

E-mail: [vjurado@irnase.csic.es](mailto:vjurado@irnase.csic.es)

**Justo, Ángel**

Instituto de Ciencia de Materiales, CSIC

c/ Américo Vespucio s/n, 41092 Sevilla

E-mail: [jjusto@icmse.csic.es](mailto:jjusto@icmse.csic.es)

**López, Pilar**

Instituto de Historia, CSIC

c/ Duque de Medinaceli 8, 28014 Madrid

E-mail: [plopez@ih.csic.es](mailto:plopez@ih.csic.es)

**López, José Antonio**

Instituto de Historia, CSIC  
c/ Duque de Medinaceli 8, 28014 Madrid  
E-mail: [alopez@ih.csic.es](mailto:alopez@ih.csic.es)

**López-Romero, Elías**

Departamento de Prehistoria  
Instituto de Historia, CSIC  
c/ Serrano 13, 28001 Madrid  
E-mail: [elopez@ih.csic.es](mailto:elopez@ih.csic.es)

**Louis, Miguel**

Unidad Asociada CSIC-Universidad de Alicante  
Carretera San Vicente s/n, Campus Universitario, 03080 San Vicente, Alicante  
E-mail: [Miguel.Louis@ua.es](mailto:Miguel.Louis@ua.es)

**Marquina, Domingo**

Departamento de Microbiología III  
Facultad de Biología, Universidad Complutense de Madrid  
c/ José Antonio Novais 2, 28040 Madrid  
E-mail: [dommarq@bio.ucm.es](mailto:dommarq@bio.ucm.es)

**Martín, Antonio**

Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CSIC  
Avda. Gregorio del Amo 8, 28040 Madrid  
E-mail: [amcostea@cenim.csic.es](mailto:amcostea@cenim.csic.es)

**Martín, Ana**

Departamento de Microbiología III  
Facultad de Biología, Universidad Complutense de Madrid  
c/ José Antonio Novais 2, 28040 Madrid  
E-mail: [anamarti@bio.ucm.es](mailto:anamarti@bio.ucm.es)

**Martín, Margarita**

Instituto de Química Física Rocasolano, CSIC  
c/ Serrano 119, 28006 Madrid  
E-mail: [mmm@iqfr.csic.es](mailto:mmm@iqfr.csic.es)

**Martínez, Javier**

Instituto de Geología Económica. Laboratorio de Petrología aplicada. Unidad Asociada CSIC-  
Universidad de Alicante  
Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente  
Universidad de Alicante. Ap. 99, 03080 Alicante  
E-mail: [Javier.martinez@ua.es](mailto:Javier.martinez@ua.es)

**Martínez, Sagrario**

Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, CSIC  
c/ Serrano Galvache 4, 28033 Madrid  
E-mail: [sagrario@ietcc.csic.es](mailto:sagrario@ietcc.csic.es)

**Montero, Ignacio**

Departamento de Prehistoria  
Instituto de Historia, CSIC  
c/ Serrano 13, 28001 Madrid  
E-mail: [imontero@ih.csic.es](mailto:imontero@ih.csic.es)

**Murcia-Mascarós, Sonia**

Instituto de Estructura de la Materia, CSIC  
c/ Serrano 121, 28006 Madrid  
E-mail: [smascaros@iem.cfm.csic.es](mailto:smascaros@iem.cfm.csic.es)

**Odrizola, Carlos**

Instituto de Ciencia de los Materiales de Sevilla, CSIC  
c/ Cardenal Spínola 7, 41002 Sevilla  
E-mail: [odrio@hotmail.com](mailto:odrio@hotmail.com)

**Oujja, Mohamed**

Instituto de Química Física Rocasolano, CSIC  
c/ Serrano 119, 28006 Madrid  
E-mail: [m.oujja@iqfr.csic.es](mailto:m.oujja@iqfr.csic.es)

**Peinado, Carmen**

Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros, CSIC  
c/ Juan de la Cierva 3, 28006 Madrid  
E-mail: [cpeinado@ictp.csic.es](mailto:cpeinado@ictp.csic.es)

**Pérez, Joaquín**

Instituto de Catálisis y Petroleoquímica, CSIC  
Avda. Marie Curie s/n, 28049 Cantoblanco  
E-mail: [jperez@icp.csic.es](mailto:jperez@icp.csic.es)

**Pérez, José Luis**

Instituto de Ciencia de Materiales, CSIC  
c/ Américo Vespucio s/n, 41092 Sevilla  
E-mail: [jlperez@icmse.csic.es](mailto:jlperez@icmse.csic.es)

**Pizzo, Antonio**

Instituto de Arqueología de Mérida, CSIC  
c/ Reyes Huertas 1, 06800 Mérida  
E-mail: [antoniopizzo@iam.csic.es](mailto:antoniopizzo@iam.csic.es)

**Plata, Alberto**

Unidad Asociada CSIC-UPV/EHU  
Grupo de Arqueología Tardoantigua y Medieval  
c/ Tomás y Valiente s/n, 01006 Vitoria-Gasteiz  
E-mail: [fgbplmoa@vc.ehu.es](mailto:fgbplmoa@vc.ehu.es)

**Rebollar, Esther**

Instituto de Química Física Rocasolano, CSIC  
c/ Serrano 119, 28006 Madrid

E-mail: [e.rebollar@iqfr.csic.es](mailto:e.rebollar@iqfr.csic.es)

**Rincón, Jesús María**

Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, CSIC  
c/ Serrano Galvache 4, 28033 Madrid

E-mail: [jrincon@ietcc.csic.es](mailto:jrincon@ietcc.csic.es)

**Romero, Maximina**

Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, CSIC  
c/ Serrano Galvache 4, 28033 Madrid

E-mail: [nromero@ietcc.csic.es](mailto:nromero@ietcc.csic.es)

**Rubinos, Antonio**

Laboratorio de Geocronología  
Instituto de Química Física Rocasolano, CSIC  
c/ Serrano 119, 28006 Madrid

E-mail: [rubinos@iqfr.csic.es](mailto:rubinos@iqfr.csic.es)

**Sáiz, Cesáreo**

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla  
Apdo. 1052, 41080 Sevilla

E-mail: [saiz@irnase.csic.es](mailto:saiz@irnase.csic.es)

**Sanchez, Pedro José**

Instituto de Ciencias de Materiales de Sevilla, CSIC-Universidad de Sevilla  
c/ Américo Vespucio s/n, 41092 Sevilla

Email: [pedroji@icmse.csic.es](mailto:pedroji@icmse.csic.es)

**Sigüenza, Belinda**

Instituto de Ciencia de Materiales, CSIC  
c/ Américo Vespucio s/n, 41092 Sevilla

E-mail: [belinda@icmse.csic.es](mailto:belinda@icmse.csic.es)

**Utrero, M<sup>a</sup> de los Ángeles**

Instituto de Historia de Madrid, CSIC  
c/ Duque de Medinaceli 6, 28014 Madrid

E-mail: [utrero@ceh.csic.es](mailto:utrero@ceh.csic.es)

**Varas, M<sup>a</sup> Josefa**

Instituto de Geología Económica, Unidad Asociada CSIC-UCM  
Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid  
c/ José Antonio Novais 2, 28040 Madrid

E-mail: [mjvaras@geo.ucm.es](mailto:mjvaras@geo.ucm.es)

**Vázquez, M<sup>a</sup> del Carmen**

Instituto de Geología Económica. Unidad Asociada CSIC-UCM  
Facultad de Ciencias geológicas, Universidad Complutense de Madrid  
c/ José Antonio Novais 2, 28040 Madrid

E-mail: [carmenvazquez@geo.ucm.es](mailto:carmenvazquez@geo.ucm.es)

**Villegas, M<sup>a</sup> Ángeles**

Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CSIC

Avda. Gregorio del Amo 8, 28040 Madrid

E-mail: [mavillegas@cenim.csic.es](mailto:mavillegas@cenim.csic.es)





