



Red Temática del CSIC de Patrimonio  
Histórico y Cultural

Novena Reunión

Avances Recientes en la Investigación  
sobre Patrimonio

Sevilla, 4-5 Marzo 2008



Libro de resúmenes





Novena Reunión

## Avances Recientes en la Investigación sobre Patrimonio

Sevilla, 4 y 5 de Marzo de 2008

### Libro de resúmenes

Volumen editado por C. Sáiz Jiménez y M.A. Rogerio Candelera

*Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas*

© Red Temática del CSIC de Patrimonio Histórico y Cultural, 2008

Editores: Cesáreo Sáiz Jiménez y Miguel Ángel Rogerio Candelera

Portada, Diseño y Maquetación: Miguel A. Rogerio

Edita: Red Temática de Patrimonio Histórico y Cultural

Imprime: Coria Gráfica, S.L.

Depósito Legal: SE-554-08

I.S.B.N. 978-84-690-9888-2

Impreso en España -- Printed in Spain



### **Comité Organizador**

Cesáreo Sáiz Jiménez  
Miguel Ángel Rogerio Candelera  
Juan Miguel González Grau  
Leonila Laiz Trobajo  
Bernardo Hermosín Campos  
Valme Jurado Lobo  
María del Carmen Portillo Guisado

### **Comité Científico**

María Teresa Blanco Varela  
Luís Caballero Zoreda  
Marta Castillejo Striano  
Felipe Criado Boado  
Rafael Fort González  
José Vicente García Ramos  
Ignacio Montero Ruíz  
Cesáreo Sáiz Jiménez  
José Luís Pérez Rodríguez  
Javier Sánchez Palencia

### **Secretaría**

Miguel Ángel Rogerio Candelera

### **Lugar de celebración de la Reunión**

Centro de Investigaciones Científicas Isla de la Cartuja  
Américo Vespucio, 49  
41092 Isla de la Cartuja (Sevilla)

### **Entidad Colaboradora**

Asociación de Miembros  
del Instituto Eduardo Torroja



# Índice

Presentación	9
Conferencia Inaugural	
F. Criado-Boado, "Las Humanidades en la actualidad. El Patrimonio como ejemplo"	13
Presentaciones Orales	
J.L. Pérez-Rodríguez, A. Justo, J. Poyato, A. Duran, M.C. Jiménez de Haro, B. Sigüenza, L.K. Herrera, C. Odriozola, H. Herrero Fernández y M.L. Franquelo, "Estudio de materiales y técnicas de realización utilizadas en obras de arte y sus procesos de alteración"	17
S. Martínez Ramírez, F. Puertas, A. Palomo y M.T. Blanco-Varela, "Morteros en el Patrimonio: conservación y reparación"	19
N. Carmona, M. García-Heras y M.A. Villegas, "Nuevas estrategias en el estudio arqueométrico de vidrios históricos"	21
C. Pascual, P. Recio, E. Criado, F. Capel, S. Pérez Villar, F. Rubio, J. Rubio, S. de Aza y F.J. Valle, "La evolución tecnológica, un elemento fundamental del Patrimonio Cultural e Histórico de la cerámica y el vidrio"	23
A. Almagro, J. Navarro y A. Orihuela, "Metodología en la conservación del patrimonio arquitectónico medieval"	27
F. Criado-Boado, D. Barreiro y C. Parcerio-Oubiña, "El <i>Laboratorio de Arqueoloxía da Paisaxe</i> del IEGPS: contribuciones desde la Arqueología al Patrimonio Cultural"	29
M <sup>a</sup> A. Utrero Agudo, "Arqueología de la Arquitectura y Patrimonio Edificado. Experiencias y perspectivas una década después"	31
A. Perea, B. Armbruster, I. Montero Ruiz y S. Rovira Llorens, "Arqueometalurgia: Historia y tecnología"	33
F.J. Sánchez-Palencia, A. Orejas, I. Sastre y M <sup>a</sup> . Ruiz del Árbol, "Los paisajes culturales preindustriales. Patrimonio y recursos sociales"	35
M. Oujja, S. Gaspard, M. Walczak, M. Martín y M. Castillejo, "Metodologías láser en la conservación del Patrimonio Cultural"	37
Z. Jurasekova, M.V. Cañamares, S. Sánchez-Cortés, C. Domingo y J.V. García-Ramos, "Aplicaciones de la espectroscopía Raman intensificada por superficies metálicas nanoestructuradas (SERS) a la determinación de pigmentos y tintes orgánicos de interés en el Patrimonio Cultural"	39
R. Fort, M.A. García del Cura, M.J. Varas, A. Bernabéu, M. Álvarez de Buergo, D. Benavente, E. Pérez-Monserrat, J. Martínez-Martínez y M.C. Vázquez-Calvo, "La Petrología: una disciplina básica para el avance de la investigación y conservación del Patrimonio"	43
S. Sánchez-Moral, S. Cuezva, A. Fernández-Cortés y J.C. Cañaveras, "Geología - Geoquímica - Microclima aplicados a la Conservación del Patrimonio"	45
A. de los Ríos, B. Cámara, J. Wierzechos y C. Ascaso, "Diagnóstico de procesos de biodeterioro por combinación de microscopía <i>in situ</i> y técnicas de biología molecular"	47
C. Saiz-Jimenez y J.M. González Grau, "Microbiología y Patrimonio Cultural"	49

## Pósters

A. Križnar, A. Ruiz Conde y P.J. Sánchez-Soto, "Las pinturas medievales en la zona litoral de Eslovenia - Materiales y técnicas"	53
G. Durán, M. Arjonilla, A. Ruiz-Conde y P.J. Sánchez-Soto, "Investigación interdisciplinar sobre estado de conservación de negativos fotográficos en la Facultad de Bellas artes de la Universidad de Sevilla"	55
E. Cano, D.M. Bastidas, V. Argyropoulos y A. Siatou, "Evaluación por técnicas electroquímicas de recubrimientos innovadores para la protección del patrimonio histórico metálico"	57
J. Martínez-Martínez, A. Bernabeu, D. Benavente, J.A. López Davó y M.A. García del Cura, "El puente de Salinetes (Novelda, alicante) y su alteración por cristalización de sales"	59
M.C. Portillo, J.M. González, R. Alloza y C. Saiz-Jimenez, "Estudio de microorganismos implicados en procesos de deterioro de pinturas rupestres en abrigos de Aragón"	63
F. Stomeo, G. Ellersdorfer, K. Sterflinger, J.M. Gonzalez y C. Saiz-Jimenez, "Análisis de la diversidad de hongos en la Cueva de Doña Trinidad (Ardales, Málaga, España)"	65
J.M. Rincón, "¿Contienen las cerámicas de "terra sigillata" un marcador microestructural?"	67
V. Jurado, D. Benavente, S. Cuezva, J. Reyes, J.C. Cañaveras, S. Sanchez-Moral, J.M. Gonzalez y C. Saiz-Jimenez, "Deterioro asociado a películas microbianas en la iglesia de San Roque, Campeche, México"	69
M.A. Rogerio-Candelera, L. Laiz y C. Saiz-Jimenez, "Una experiencia de laboratorio para la separación de cubiertas en la documentación de pinturas rupestres y murales afectadas por biodeterioro"	71
L. Laiz, V. Jurado, E.A. Akatova, J.M. González y C. Saiz-Jimenez, "Presencia de actinobacterias del género <i>Rubrobacter</i> en tumbas de la Necrópolis de Carmona"	73
M.L. Franquelo, A. Duran, M <sup>a</sup> .D. Robador, M.C. Jimenez de Haro, L.K. Herrera, P. Gimena y J.L. Perez-Rodríguez, "Estudio del soporte y ornamentación de la bóveda de la Sala Capitular y de la escalera del Ayuntamiento de Sevilla"	77
L.K. Herrera, M. Cotte, M.C. Jimenez de Haro, A. Duran, A. Justo y J.L. Pérez Rodríguez, "Aplicación de la Radiación Sincrotrón en el estudio de estratos pictóricos combinado $\mu$ -DRX y $\mu$ -FRX"	79
M.I. Gomes, M.A. Rogerio-Candelera, A.Z. Miller, M.F. Macedo, A. Dionísio, L. Laiz y C. Saiz-Jimenez, "Análisis de imagen para la evaluación de la bioreceptividad de materiales utilizados en el Patrimonio Cultural"	81
A. Križnar, M.V. Muñoz, F. de la Paz, M.A. Respaldiza y M. Vega, "Dos tablas de Vasco Pereira del Museo de Bellas Artes de Sevilla analizadas por FRX portátil"	83
A. Garrido Luque, C. Liñán Baena y Y. del Rosal Padial, "Proyecto interdisciplinar para la conservación del Bien de Interés Cultural Cueva de Nerja (Málaga, España)"	85
A.B. Martin-Rojo y J. Pérez-Pariente, "Revalorización del Patrimonio Bibliográfico Histórico-Químico presente en las bibliotecas españolas"	87
C. Abrusci, D. Marquina, A. Santos, A. del Amo, C. Corrales y F. Catalina, "Biodegradación de gelatina fotográfica por bacterias y hongos. Estudio de quimioluminiscencia"	89
J. Rodríguez Gordillo y M.P. Sáez Pérez, "Evaluación de características mecánicas de mármol mediante técnicas no destructivas (TND): ultrasonidos <i>versus</i> dureza de Smichdt"	91
N. Aira, V. Jurado, B. Prieto y B. Silva, "Identificación de los organismos presentes en pátinas de monumentos graníticos de Galicia"	93
S. Martínez-Ramírez, M.I. Sánchez de Rojas, V. Azorín y M.T. Blanco-Varela, "Policromía en la rejería del Palacio de La Granja de San Ildefonso"	95
J. Igea, P. Lapuente, R. Alloza, P. Marzo y J.L. Recuento, "Metodología de estudio para la evaluación del deterioro en edificios de mampostería de ladrillo: la Iglesia de Sta. María de la Huerta en Magallón (Zaragoza)"	99
F.J. García-Diego y J. Pérez Miralles, "Conservación preventiva de los frescos de la Catedral Metropolitana de Valencia"	101
J. Cuevas-González, A. Fernández-Cortés, M.A. García del Cura y J.C. Cañaveras, "Condiciones de ventilación en la Cueva del Canelobre (Alicante): implicaciones para la gestión ambiental de una cavidad turística"	103
B. Cámara, A. De los Ríos, M. Álvarez de Buergo, R. Fort y C. Ascaso, "Colonización microbiana de la Piedra de Redueña: Implicaciones en el diagnóstico de fenómenos de biodeterioro"	105

# **Presentación**



La Red Temática del CSIC de Patrimonio Histórico y Cultural integra desde 2001 más de treinta Grupos de Investigación de dieciocho Institutos, que se agrupan en cinco áreas de trabajo:

- Arqueología y Patrimonio Arquitectónico
- Química y Materiales
- Física
- Geología
- Biología

La Red desarrolla una importante labor de difusión de las actividades del CSIC en el ámbito del Patrimonio Histórico, de forma que éstas lleguen a los usuarios finales: Ministerios de Educación y Ciencia y Cultura, Consejerías de Cultura de las distintas Comunidades Autónomas, Museos, Instituciones Locales, Fundaciones y Empresas. Asimismo, el conocimiento de las distintas líneas y técnicas de actuación de los grupos permite abordar de forma transdisciplinar los problemas a resolver y la presentación conjunta de proyectos en programas nacionales y comunitarios.

Una de las actividades más relevantes de la Red se centra en la organización de las Reuniones Temáticas en las que participan tanto los grupos integrados en la Red del CSIC, como los procedentes de otras instituciones. Desde su constitución se han celebrado ocho reuniones, con carácter anual desde 2004.

En esta ocasión, la Reunión la organiza en Sevilla el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología bajo el lema *Avances Recientes en la Investigación del Patrimonio*. El objetivo es dar a conocer las investigaciones llevadas a cabo por los distintos grupos de la Red, para los que se han reservado 15 comunicaciones orales de 30 minutos. Además, se incluyen otras 23 comunicaciones libres, presentadas en forma de póster.





## **Conferencia Inaugural**



# Las Humanidades en la actualidad. El Patrimonio como ejemplo

Felipe Criado-Boado

*Coordinador científico-técnico del Área de Humanidades y Ciencias Sociales. CSIC*

Por su dimensión social y cultural, las Humanidades y Ciencias Sociales son determinantes en la generación y reproducción de conocimiento. Sin embargo las Humanidades han estado marcadas por un tópico que las situaba al margen de las líneas y dinámicas generales de la ciencia y la tecnología. Incluso fue frecuente oír voces que propugnaban la separación total de éstas respecto al cuerpo principal.

Esta posición es fruto de una historia muy larga que no es procedente glosar aquí. Enraíza con temas básicos del pensamiento occidental y con la filosofía de la Ilustración y la modernidad, con la dicotomía entre ciencias naturales y ciencias del espíritu, y con otras dualizaciones como la que distingue entre ciencias explicativas (las naturales, exactas y tecnológicas) y ciencias narrativas (las de humanidades).

Un cierto victimismo de muchos humanistas, ha propugnado y propugna que esta visión tópica ha sido extendida desde las ciencias hacia las humanidades. Pero esa visión minusvalora la propia responsabilidad de la posición humanística típica, que a menudo ha hecho bandera de su excepcionalidad y especificidad respecto a las restantes ciencias.

En este contexto, la estrategia actual que está siguiendo el Área de Humanidades y Ciencias Sociales del CSIC está orientada a cumplir los objetivos que la transformación del CSIC en Agencia establecen para todo este organismo: alcanzar altas cotas de excelencia e internacionalización, y contribuir con solvencia, desde la frontera del conocimiento, a los grandes debates sociales y culturales de nuestro tiempo. Estos objetivos enraízan en la nueva misión que el Estatuto de la Agencia marca al CSIC.

En este texto se presenta la situación actual del Área de Humanidades y Ciencias Sociales del CSIC y la orientación de transformación que sigue en la actualidad. Como ejemplo y, al tiempo, principal actuación de esta estrategia, se detalla la creación del nuevo Centro de Ciencias Humanas y Sociales, en Madrid. Y se vuelca toda esta argumentación sobre la investigación en Patrimonio Cultural no sólo para reflexionar sobre la actualidad y potencialidades de la misma, sino para mostrar la virtualidad de este campo como un horizonte de inflexión y actualización del Área de Humanidades y Sociales.

En el Plan Estratégico del Área de Humanidades y Ciencias Sociales del CSIC vigente para el periodo 2006-9, se opta por el término “ciencias humanas” y no “humanidades” porque el CSIC ha decidido que en el área prevalezca una investigación orientada a la producción de conocimiento científico, basado en *modelos teóricos* robustos e informado por *evidencias empíricas* rigurosas. El fin de esta propuesta es avanzar en la homologación del área con las otras áreas que constituyen un organismo como el CSIC orientado hacia la producción de conocimiento científico de calidad. La nueva misión del área sería:

*Producir, a través de la investigación científica, conocimiento riguroso sobre la realidad social con el fin de explicar sus mecanismos de producción y reproducción, y contribuir así a la transformación de la sociedad y al crecimiento del bienestar social mediante el incremento de la autoconciencia y la reflexividad, mediante la generación de contenidos, críticas y valores, y mediante la definición de horizontes concretos de aplicación y revalorización.*

El Patrimonio es un buen ejemplo de las potencialidades de las ciencias humanas, de la forma de adaptación de éstas al presente y a contextos prácticos, y de la posibilidad de vincular esas disciplinas a programas transversales superadores de la definición monotemática y de una investigación centrada en áreas de conocimiento universitarias.



## **Comunicaciones orales**



# Estudio de materiales y técnicas de realización utilizadas en obras de arte y sus procesos de alteración

J.L. Pérez-Rodríguez, A. Justo, J. Poyato, A. Dúran, M.C. Jiménez de Haro, B. Sigüenza, L.K. Herrera, C. Odriozola, H. Herrero Fernández y M.L. Franquelo

*Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla-Consejo Superior de Investigaciones Científicas-Universidad de Sevilla. Avenida Américo Vespucio, 41092, Isla de la Cartuja, Sevilla, España*

El grupo de investigación “Estudio de Materiales y Técnicas de realización utilizadas en obras de arte y sus procesos de alteración”, inició su actividad hace más de cuarenta años (1965) colaborando en estudios de arqueometría y en restauraciones de imágenes religiosas que procesionan por las calles de Sevilla. Desde entonces nuestros trabajos sobre Obras de Arte han sido continuados, se pueden citar más de un centenar de Obras estudiadas que abarcan edificios, retablos, metales, cerámicas, rocas, esculturas, obras en lienzo, pinturas murales, espejos, fibras de papel, manuscritos, pigmentos, soportes, maderas, etc. El estudio ha abarcado no sólo la caracterización de estos materiales y la técnica utilizada para su realización que es de gran importancia, sino del deterioro de los mismos, estudiando las causas y las formas de control. Desde el inicio de nuestro trabajo en este campo de investigación hemos tenido una evolución continuada en las técnicas de estudio, al mismo tiempo que hemos ido aumentando nuestros conocimientos en este campo. Los estudios han sido realizados con la colaboración de otros muchos expertos en Patrimonio Cultural de varias Instituciones y empresas privadas, además de las ayudas económicas de los proyectos a nivel nacional y Europeo y principalmente a la colaboración con la Dirección General de Bienes Culturales de la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía.

Los principales casos estudiados son:

**Cerámica.** Se han estudiado las cerámicas que adornan las puertas de la Catedral de Sevilla realizadas por Lorenzo Mercadante, Pedro Millan y otros autores. Se investigó la constitución del material cerámico, las policromías presentes y los estados de alteración de los materiales utilizados.

**Metales.** Se han estudiado diferentes tipos de materiales metálicos, destacando sellos de plomo de la colección del Excmo. Ayuntamiento de Sevilla, los bronceos de la Puerta del Perdón de la Mezquita de Córdoba, tubos metálicos de órganos de diferentes iglesias, metales encontrados en yacimientos arqueológicos, oro, plata y estaño utilizados en policromías, brocados, dorados.

**Espejos.** Los espejos fueron realizados con una amalgama de estaño y mercurio, principalmente utilizada desde el siglo XVI hasta principios del siglo XX. Se ha realizado un análisis cualitativo de las fases presentes en la amalgama utilizando diversas técnicas experimentales.

**Esculturas.** Como ejemplo se citan tres obras de Martínez Montañés: *Inmaculada Concepción* - “La Ciegucecita”, *San Pascual Bailón* y *San Francisco de Asís*.

**Obras en lienzo.** Como ejemplo se citan pinturas de Murillo (*Virgen con niño, San José y el niño y San Juan Bautista*), Valdés Leal (*Bautismo de San Jerónimo*) y José de Ribera (*Santa Teresa de Jesús*).

**Pinturas Murales.** Dentro de este tipo de pinturas se han estudiado: Pintura parietal Romana de *Villa dei Papiri* (Herculano) y del jardín de la casa del *Bracciale d'Oro* (Pompeya), pintura mural estilo Mudéjar del estanque del Patio de las Doncellas de los Reales Alcázares de Sevilla, Pinturas murales

de la Cartuja y de la Iglesia del Salvador de Sevilla. Soporte y ornamentación de la bóveda de la Sala Capitular y de la escalera del Ayuntamiento de Sevilla.

**Rocas.** En colaboración con el grupo de IRNAS y la Universidad de Salamanca se han realizado estudios de diversas rocas. En colaboración con el Departamento de Arqueología de la Universidad de Sevilla se realiza un estudio sobre Arqueología en la Tierra de Barros (Badajoz).

En los últimos años estamos avanzando en mejorar las técnicas y aplicar otras nuevas para el estudio del patrimonio como la radiación sincrotrón y principalmente técnicas no destructivas, en que no se requiere la toma de muestras, como son difracción de rayos X utilizando cristales *Göbel*, difractómetro con ángulo rasante, desarrollo de equipos de difracción y microanálisis portátiles, espectroscopía Raman portátil y la radiación sincrotrón asociada a las técnicas de DRX y FRX.

Se continuará con la colaboración de la Dirección General de Bienes Culturales de la Junta de Andalucía, el Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico, Facultades de Bellas Artes de las Universidades de Sevilla y Granada, Museo de Bellas Artes de Sevilla, así como con otras instituciones y empresas privadas.



# Morteros en el Patrimonio: conservación y reparación

S. Martínez-Ramírez, F. Puertas, A. Palomo y M.T. Blanco-Varela

*Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Serrano Galvache, 4; 28033 Madrid*

A finales de los años 80 el grupo comenzó su andadura en la investigación relacionada con la conservación del Patrimonio Histórico Cultural, mediante su participación en el programa EUROCARE. Desde entonces hasta la actualidad se han cultivado distintas líneas de investigación, avaladas por más de 14 proyectos de investigación financiados por CICYT o CE o por diferentes convenios con entidades públicas y privada, con trabajos llevados a cabo en edificios de importancia en el Patrimonio Histórico tales como las catedrales de Toledo y Sevilla, la Torre del Oro, en el Alcázar de Sevilla o en el Palacio de La Granja de Segovia.

En este contexto se han cultivado distintas líneas de investigación, desde el desarrollo de técnicas de análisis no destructivo basadas en Termografía IR para el estudio de humedades en el Patrimonio, la propuesta y validación de una metodología de diagnóstico de humedades, que permite diferenciar el tipo de humedad presente en un edificio, y dar soluciones constructivas adecuadas a cada caso, pasando por el desarrollo de morteros de reparación, desarrollo de productos y valoración de tratamientos hidrofugantes o antivandálicos, por el estudio de la interacción de contaminantes atmosféricos con los materiales de construcción, o por el diagnóstico del estado de conservación de distintos materiales artificiales de construcción en diversos conjuntos arqueológicos, cuevas, edificios, etc. Dada la diversidad de líneas cultivadas se han seleccionado para su presentación aquí algunos de nuestros resultados más interesantes en torno a la conservación y reparación de morteros en el Patrimonio construido.

Cuando se realizan reparaciones de edificios antiguos una de las condiciones que se debe cumplir es utilizar materiales y métodos lo más parecido posible a los que se van a restaurar por lo que se debe conocer la composición de dichos materiales. La evolución de los morteros una vez colocados en obra hace que su composición varíe con el tiempo por lo que se presenta una metodología de análisis de morteros antiguos que permite identificar el ligante del mortero original en base a los datos químicos y mineralógicos actuales. Dicha metodología fue validada en edificios de diferentes ciudades y épocas.

A su vez, el aumento de contaminación en las ciudades está llevando a un incremento en el deterioro de los materiales de construcción, por lo que surge la necesidad de realizar estudios para proteger adecuadamente los edificios. Los procesos son complejos puesto que implican variables tanto del material como del ambiente que los rodea. Se presentan estudios sobre la influencia que el agua y los oxidantes tienen en la acción de los contaminantes gaseosos en la formación de sales agresivas sobre diferentes tipos de morteros (cal, cal y puzolana, cemento). Asimismo se determina la acción de la "lluvia ácida" sobre dichos materiales.

Se presentan los resultados que demuestran por primera vez la formación de taumasita y etringita por efecto del SO<sub>2</sub> atmosférico. Se establecen algunas de las variables que influyen en la formación de dicha sal expansiva en diferentes morteros del Patrimonio.

En los morteros más porosos expuestos en la intemperie fundamentalmente en zonas sombrías una de las causas más probables de deterioro es el crecimiento de microorganismos. En este trabajo se presenta un nuevo mortero de reparación de base cal con propiedades biocidas así como otro de propiedades mecánicas mejoradas en base de cal y metacaolín.

Con el fin de evitar la penetración de agua en el mortero se aplican tratamientos hidrofugantes en la superficie externa de los morteros. En este trabajo se presenta una metodología de estudio de la

polimerización de los tratamientos hidrofugantes que permite estudiar su evolución y correlacionar esta con el deterioro y la necesidad de su sustitución.

Uno de los aspectos que hay que tener en cuenta en el proceso de construcción y por supuesto en el de reparación de elementos constructivos deteriorados es la compatibilidad de materiales. Esta compatibilidad ha de ser no solo de tipo químico, es decir materiales estables y que no reaccionen entre sí, sino también respecto de sus propiedades físicas, estabilidad de volumen, etc. Se presenta un caso concreto de deterioro por efecto de incompatibilidad de materiales en la Catedral de Toledo, donde las diferencias en los coeficientes de dilatación térmica e hídrica de los diferentes morteros y la piedra justifican el deterioro mostrado en los paramentos que produjo importantes pérdidas de material.

# Nuevas estrategias en el estudio arqueométrico de vidrios históricos

N. Carmona, M. García-Heras y M.A. Villegas

*Laboratorio de Arqueometría de Materiales. Instituto de Historia. Centro de Ciencias Humanas y Sociales, CSIC. C. Albasanz, 26-28. 28037 Madrid.*

Tradicionalmente los vidrios históricos se estudian atendiendo a su tipología, modo de procesamiento, coloración, decoraciones y capas pictóricas, etc. Sin embargo, dichos criterios resultan poco resolutivos cuando se trata de evaluar con ciertas garantías su procedencia, tecnología de producción, estado de conservación, mecanismos de degradación, procedimientos de restauración y conservación y protección frente al deterioro previsible. La aplicación de técnicas de caracterización químico-físicas, que se usan normalmente para la mayoría de los materiales, da respuesta a la cuestión planteada y permite una aproximación más precisa y realista a las cuestiones de propiedades, comportamiento y preservación del patrimonio histórico y cultural relacionado con los vidrios.

La aproximación al conocimiento arqueométrico de los vidrios con interés histórico, artístico y cultural se puede entender en tres dimensiones:

- caracterización químico-física
- procedimientos de protección activa
- sistemas de conservación preventiva

La caracterización químico-física de los vidrios históricos está relacionada con el estudio de su estado de conservación presente. Por lo tanto, se incluye la evaluación de los signos de deterioro, degradación y corrosión que sean patentes y la asignación de los correspondientes mecanismos químico-físicos que han producido las disfunciones mencionadas. Se utilizan técnicas convencionales más o menos destructivas de análisis químico (métodos por vía húmeda, espectrometría de fluorescencia de rayos X, microscopía electrónica de barrido, espectrometría de dispersión de energías de rayos X, etc.) y técnicas avanzadas no destructivas o microdestructivas (espectrometrías con haces de iones, espectrometría de láser inducido, microscopía de fuerza atómica, etc.). La coloración de los vidrios se estudia casi invariablemente por espectrofotometría visible, y la identificación de las fases cristalinas en los depósitos de productos de corrosión, picaduras superficiales y eventuales desvitrificaciones por difracción de rayos X. La microestructura superficial o en sección transversal se observa mediante microscopías óptica y electrónica de barrido. Esta última técnica es muy útil para el estudio de las decoraciones de los vidrios (grabados y tallas, pinturas vitrificables o *grisallas*, veladuras, esmaltados, dorados, etc.), y permite evaluar el espesor de las decoraciones y capas pictóricas, su estado de conservación y obtener datos analíticos locales o puntuales gracias a la técnica de microanálisis por dispersión de energía de rayos X (EDX) acoplada al microscopio electrónico de barrido (Figura 1).

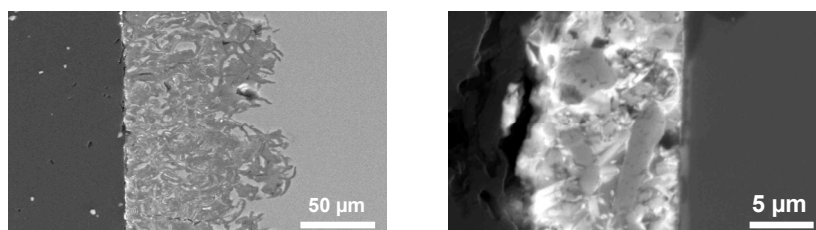


Figura 1. Imágenes de MEB de la sección transversal de un vidrio de vidriera del s. XV. Izquierda: costra de corrosión superficial penetrando en el vidrio inalterado (zona gris clara). Derecha: detalle de los granos de una *grisalla* sobre el vidrio (zona gris lisa).

Los procedimientos de protección activa para vidrios históricos consisten en la aplicación directa sobre la superficie alterada, degradada o corroída de dichos vidrios de capas, recubrimientos o películas que ejercen una función de barrera inerte y aislante respecto al medio ambiente. La

aplicación de las capas de protección se puede llevar a cabo mediante bombardeo iónico (*sputtering*), el procedimiento sol-gel o la aplicación por contacto directo de resinas u otros compuestos orgánicos que forman películas adherentes. Los requerimientos para las capas protectoras deben basarse en el criterio de mínima intervención, por lo que han de ser reversibles, químicamente inertes respecto al vidrio y ópticamente inocuos (transparentes, incoloros y de índice de refracción lo más parecido posible al del vidrio a recubrir). Otras propiedades imprescindibles de las capas protectoras se refieren a su capacidad para actuar como aislante del medio ambiente y de los agentes que inician y activan la degradación de los vidrios históricos (humedad, contaminación, choque térmico, irradiación luminosa). La buena adherencia de las capas garantiza una protección duradera y segura frente a los agentes químico-físicos agresivos para los vidrios. Sin embargo, una adherencia total impide la eliminación de la capa (irreversibilidad) en intervenciones futuras (Figura 2).

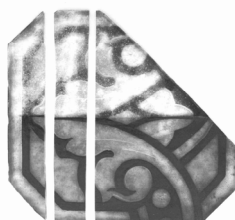


Figura 2. Fragmentos de un vidrio de vidriera. Parte superior: antes de la restauración. Parte inferior: después de la restauración y aplicación de un recubrimiento protector.

La conservación preventiva de vidrios históricos es una cuestión poco definida y poco frecuente. En el caso de vidrieras normalmente consiste en instalar un acristalamiento común por delante de la vidriera histórica, de modo que ésta queda al abrigo del ambiente exterior y de los agentes agresivos. En el interior de museos, vitrinas o en salas de exposición y almacenes sólo se puede llevar a cabo una conservación preventiva controlando el microambiente. Para ello es muy útil el uso de sensores que sin interactuar con la pieza de vidrio histórico pueden alertar sobre los cambios más o menos bruscos que se producen en su entorno. Los sensores ambientales de respuesta óptica basados en la tecnología sol-gel han demostrado su idoneidad para este fin. Con los sensores ópticos sol-gel se pueden evaluar diversos parámetros ambientales que afectan a la correcta conservación de los vidrios, como la acidez del aire, la luz, la temperatura y la humedad. Las propiedades químico-físicas de dichos sensores son muy favorables, así como sus umbrales de sensibilidad, tiempo de respuesta, reversibilidad, vida útil, etc. Los sensores ópticos ambientales presentan, además, otras ventajas como son su pequeño tamaño, facilidad de uso y manejo y bajo coste de producción (Figura 3).

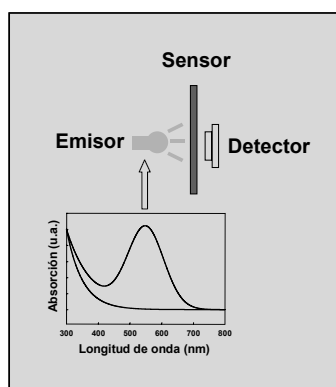


Figura 3. Esquema del fundamento de un sensor óptico ambiental.

# La evolución tecnológica, un elemento fundamental del Patrimonio Cultural e Histórico de la cerámica y el vidrio

C. Pascual, P. Recio, E. Criado, F. Capel, S. Pérez Villar, F. Rubio, J. Rubio, S. de Aza y F.J. Valle

*Grupo de Arqueometría Cerámica y Vidriera. Instituto de Cerámica y Vidrio, CSIC. 28049 Cantoblanco. Madrid*

## Introducción

Las actividades que el grupo de Arqueometría Cerámica y Vidriera del Instituto de Cerámica y Vidrio del CSIC viene desarrollando desde hace más de una década, se han organizado en torno a dos criterios generales: el estudio de los materiales no solo como bienes ligados al Patrimonio Cultural, sino al análisis de la investigación científica e innovación tecnológica que a lo largo del tiempo ha marcado su evolución y la combinación, en su estudio, de técnicas convencionales junto a las no destructivas.

La capacidad acumulada por este equipo multidisciplinar en el campo de la Cerámica y el Vidrio ha permitido abarcar, además de su caracterización, el diseño y procesamiento de los materiales aportando así una perspectiva global de nuestra disciplina a los desarrollos arqueométricos.

## Cerámica

### ***La introducción de la producción de porcelana en España. Una aproximación arqueométrica***

La porcelana y su fabricación en Europa a lo largo del siglo XVIII, en un proceso de imitación de la porcelana dura china, constituyó una de las piezas clave de la Revolución Industrial. El esfuerzo de integración de conocimientos científicos y técnicos, recursos económicos y organizativos sin precedentes efectuado, significó, en definitiva, el salto de una actividad basada en criterios rayanos con la alquimia a una actividad gobernada por criterios racionales. En principio los proyectos de investigación se focalizaron en la reconstrucción de la porcelana de la Real Fábrica de Buen Retiro, Madrid (1760–1808), que, si bien gozaba de un reconocimiento mundial desde el punto de vista artístico e histórico, tenía una presencia escasa e incluso errónea en las investigaciones sobre la porcelana como elemento del Patrimonio en Europa, que han sistematizado la información arqueométrica existente sobre las principales producciones europeas.

Los trabajos realizados se han efectuado a través de la caracterización físico-química y microestructural de las piezas encontradas en excavaciones, colecciones y fondos museísticos y del Patrimonio Nacional, a fin de determinar las materias primas, los procesos y las técnicas empleadas, estableciendo los elementos que diferencian la Porcelana de Buen Retiro de otras porcelanas europeas y nacionales, así como los factores que caracterizan sus distintas etapas.

Un objetivo prioritario ha sido el ampliar el rango de las técnicas analíticas tradicionales hacia el empleo de técnicas no o minimamente destructivas y el análisis de los materiales *in situ*. Destacamos la Difracción de neutrones térmicos de alta resolución, la Emisión de rayos X inducida por partículas (PIXE), la Dispersión de neutrones a bajo ángulo (SANS) y la adecuación y modificación de otras técnicas como la Fluorescencia de rayos X y la Difracción de rayos X de ángulo rasante. La disponibilidad de fragmentos arqueológicos de menor interés museístico ha permitido el estudio contrastado de estas técnicas y la evaluación de su eficacia y limitaciones frente a los ensayos cerámicos convencionales.

La colaboración con conservadores y arqueólogos (Museo Arqueológico Nacional, Patrimonio Nacional, Comunidad de Madrid, Escuela de Cerámica de la Moncloa, Museo Nacional de Cerámica, Instituto Caselli de Nápoles, etc), y con centros nacionales e internacionales de investigación en el

campo de la Arqueometría (Centro de Microanálisis de Materiales, Madrid, Universidad de Cardiff, Universidad de Thiais, Paris, Istituto di Scienza e Tecnologia dei Materiali Ceramici CNR, Faenza) ha sido otro de los objetivos en los proyectos de investigación llevados a cabo.

El proyecto CAM 06/01/04/1999 se centró en la porcelana utilizada en vajilla en la última etapa de Buen Retiro. Los fragmentos procedentes de la excavación de “El Huerto del Francés”, cedidos por la Comunidad de Madrid, mostraron que, entre 1802 y 1808, Retiro desarrolla una porcelana magnésica, con  $\alpha$ -cuarzo,  $\alpha$ -cristobalita, protoenstatita y alto contenido en fase vítrea, muy distinta a las porcelanas tiernas europeas que utilizaron una arcilla magnésica en lugar del caolín. Su formulación se inscribe en el campo primario de cristalización de la protoenstatita en el sistema  $\text{SiO}_2$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{MgO}$ - $\text{K}_2\text{O}$ . El vidriado, de tipo feldespático, es semejante a los empleados en la factoría de Sèvres. También se estudió una pasta dura de tipo caolinitico, posiblemente de la última época y se realizaron los primeros estudios de porcelanas de bario.

Muy diferentes son las pastas de vajilla de la primera década de Buen Retiro (1760-1770) y de Capodimonte (1743-1759) estudiadas en la acción integrada CSIC-CNR 2004-IT-0036. Las composiciones pueden formularse en el volumen primario de cristalización de la sílice dentro del sistema quinario  $\text{CaO}$ - $\text{MgO}$ - $\text{K}_2\text{O}$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$ . La mineralogía de los fragmentos de excavaciones de ambas factorías es semejante, con  $\alpha$ -cuarzo,  $\alpha$ -cristobalita y  $\alpha$ -tridimita, un apreciable contenido de fase vítrea y la presencia eventual y minoritaria de anortita, diópsido u otras fases del sistema. La porcelanas europeas de composiciones más cercanas son las de Medici, producida en Florencia y de Saint Porchaire (Francia), a finales del siglo XVI, casi 150 años antes que las producciones italoespañolas estudiadas.

En las piezas de pavimentos de la Casita del Príncipe (1807-1808), programa CAM 06/0112/2002, cedidas por Patrimonio Nacional, se confirmó la utilización de pastas y cubiertas de composición similar a la de la vajilla magnésica. En un estudio combinado de MEB, FRX, DRX de ángulo rasante y micro  $\alpha$ -PIXE se determinaron los pigmentos y fritas responsables de la amplia gama de colores utilizada en la decoración del embaldosado.

La Arqueometría de la porcelana en Alcora se inicia en 2006 a raíz de la exposición “Un siglo de cerámica de Alcora en el Museo Arqueológico Nacional (1727-1827)”. Los resultados preliminares muestran que la pasta utilizada en diferentes colecciones de vajillas de Alcora (1787-1810), con alto contenido en  $\text{SiO}_2$ , se asemeja a la de la porcelana tierna no fritada elaborada en Capodimonte (1743-1759) y en los primeros años de Buen Retiro (1760-1770). Se estudia la influencia del espesor, el contenido en  $\text{PbO}$  y de la adición de  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ , y/o  $\text{SnO}_2$  de la cubierta, en la disimilitudes en el color, brillo e incluso en la textura de las piezas de vajillas de las distintas series. Paralelamente, en piezas de escultura elaboradas con anterioridad a 1775, se ha analizado la composición mineralógica, la evolución de fases y la temperatura de cocción en función del diagrama cuaternario  $\text{SiO}_2$ - $\text{P}_2\text{O}_5$ - $\text{CaO}$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Son pastas fosfáticas que, además de diferentes polimorfos de sílice, anortita, fosfato tricálcico y fase vítrea, características de la bone china de las fábricas inglesas coetáneas, contienen hidroxiapatita. Como elemento opacificante del esmalte se utiliza el óxido de estaño, al igual que en la producción de lozas.

En el programa “Estudio de la Evolución Científica y Tecnológica Mediante Técnicas Analíticas Avanzadas, de la Porcelana de la España del siglo XVIII”, MAT2007/62601, se completará la sistemática investigación llevada a cabo en las pastas de vajilla de Buen Retiro y se abordará por primera vez su producción escultórica, la de mayor relevancia y continuidad de la Fábrica. Se estudiará Retiro no como un fenómeno aislado sino estableciendo su conexión con las manufacturas de Alcora, Moncloa, Capodimonte y otras fábricas europeas. La utilización de técnicas avanzadas de análisis revalorizará las producciones de porcelana de una etapa clave de la Cerámica e incluso del Patrimonio cultural europeo. La sistematización de los análisis físico-químicos, mineralógicos y micro-estructurales de muestras catalogadas, procedentes de colecciones particulares y de fondos de Museos y Patrimonio Nacional, proporcionará criterios objetivos para la adecuada identificación, autenticación y clasificación de los fondos de Buen Retiro.

## **Vidrio**

***Caracterización de vidrios de los yacimientos arqueológicos de la villa romana de Carranque y del Conjunto Monumental de la Alcazaba de Almería. El vidrio en la pintura del Museo del Prado***

En la villa romana de Carranque, descubierta en 1983 se han venido desarrollando, de manera ininterrumpida, excavaciones arqueológicas que culminaron en 2003 con la creación y apertura al

público del Parque Arqueológico de Carranque incluido en la red de Parques Arqueológicos de Castilla La Mancha. El estudio y caracterización de las teselas de vidrio que se utilizaron en los mosaicos de la Villa Romana es el objetivo fundamental de esta línea de investigación.

La Alcazaba de Almería forma, junto al lienzo de muralla del cerro de San Cristóbal, uno de los conjuntos medievales de Al-Andalus más impresionantes. Los vidrios de la Alcazaba, excavados en una zona privada, a la entrada del recinto palacial, situado en el segundo recinto, pertenecen a la época Nazarí (S XIII-XIV). Una serie de fragmentos de vidrios han sido analizados por ICP-OES, FRX, DRX, PIXE, MET y MEB para conocer su microestructura y composición química.

Mediante un convenio de colaboración CSIC-Prado se están estudiando las representaciones de vidrio en la pintura del Museo del Prado, de forma que la iconografía permita conocer su función dentro del cuadro, su cronología y el papel que el pintor concede a los elementos de vidrio representados. Con este estudio se pretende generar un amplio catálogo de cuadros, todos ellos pertenecientes al Museo del Prado, en donde los elementos de vidrio ocupan un espacio, más o menos relevante, dentro de la obra de los distintos autores. Dicho estudio va a permitir, además, ubicar en su contexto histórico y cultural a las propias manifestaciones pictóricas. A través del análisis de los objetos de vidrio se descubren los aspectos estéticos de una época, los gustos y las necesidades de las diferentes clases sociales.





# Metodología en la conservación del patrimonio arquitectónico medieval

Antonio Almagro, Julio Navarro y Antonio Orihuela

*Escuela de Estudios Árabes, CSIC. Cuesta del Chapiz, 22, 18010 Granada*

La conservación del Patrimonio no supone simplemente la permanencia de la materia de los bienes que lo integran, sino que debe conllevar ante todo la preservación de un conjunto de valores que son los que en último caso justifican su trascendencia, pues mientras que unos tienen soporte directo en su propia realidad física otros, como los históricos, simbólicos o afectivos, son en mayor o menor medida inmateriales, pero no por ello resultan menos importantes a la hora de su consideración como bienes de la colectividad.

Toda protección patrimonial debe, por tanto, basarse en identificar estos valores, como paso previo a cualquier otra actuación. De ahí la importancia de que exista una estrategia investigadora sobre el patrimonio con independencia de las intervenciones concretas que en un momento dado deban realizarse. Este esfuerzo por conocer debe estar siempre abierto y enriqueciéndose constantemente, pues con ello incrementamos la propia importancia del bien.

Esta concepción de la conservación nos lleva inevitablemente a la necesidad de la investigación sobre el patrimonio desde una perspectiva interdisciplinar, que no supone sólo la intervención de distintos profesionales con puntos de vista diferentes y con aplicaciones metodológicas diversas, sino sobre todo de una concepción global unitaria y convergente hacia ese objetivo común de identificar los valores inherentes y buscar los medios para su preservación. Podemos afirmar que la base y la garantía de una buena protección del patrimonio es el conocimiento adecuado del mismo.

Con esta perspectiva venimos trabajando, tanto en la obtención de información extraída del propio patrimonio como en la actuación sobre él, aplicando por un lado el saber acumulado y tratando a la vez de obtener nuevos datos mediante intervenciones físicas de excavación arqueológica o de restauración. Para alcanzar estos objetivos se cuenta con profesionales de distintas formaciones y experiencias, pero también se ha recurrido permanentemente a la participación de otros colegas del propio CSIC o de otras instituciones que los complementen procurando de este modo abordar todos los aspectos de interés que puedan encontrarse.

De acuerdo con la metodología desarrollada, el proceso de actuación comporta una fase previa de documentación, tanto gráfica como documental y de análisis del edificio incluyendo el estudio estratigráfico de paramentos y fábricas y en algunos casos sondeos arqueológicos previos. También se analizan los aspectos constructivos y de materiales junto con las patologías que les afectan y sus causas. Toda esta investigación comporta la generación de un conocimiento del que dimanarán las actuaciones a seguir. Estas pueden ser de dos tipos, que en ningún caso son excluyentes sino complementarias. Si el edificio o monumento necesita una intervención de restauración, se procede a la redacción del correspondiente proyecto basado en la información disponible. En todo caso, tanto si se actúa físicamente sobre el objeto como si no, se plantea siempre una labor de difusión del conocimiento a incrementar continuamente en dos frentes diferentes: el primero de carácter científico, a través de publicaciones especializadas, comunicaciones y ponencias en reuniones académicas; el segundo, con una dimensión más divulgadora y popular, mediante la utilización de paneles explicativos en el propio monumento, conferencias y medios audiovisuales.

Tanto la fase de intervención, como la misma de difusión producen siempre nuevos conocimientos y reflexiones que retroalimentan el proceso en su carácter abierto, como ya indicamos anteriormente.

Para atender a todas estas necesidades, en el LAAC hemos desarrollado una serie de técnicas, con su propio método de investigación, que permiten dar respuestas adecuadas a la altura de la tecnología de cada momento. Desde hace bastantes años nos hemos convertido en un centro de referencia, incluso a nivel internacional, en las técnicas de levantamiento por fotogrametría, proporcionando en este campo servicios a otras entidades o grupos de investigación. Para ello se

cuenta con un equipo adecuado de altas prestaciones así como con sistemas digitales de bajo costo cuyo uso se ha difundido en otros centros y universidades. También hemos avanzado en una línea de trabajo en el campo de la modelación y reconstrucción virtual que permite tanto una mayor reflexión y profundización en los estudios y propuestas de interpretación, como una amplia divulgación coherente con las necesidades de un público no especializado. Igualmente hemos desarrollado las técnicas arqueológicas necesarias para un correcto análisis del monumento en su contexto urbano, pues el elemento patrimonial no se puede entender aisladamente dado que tanto el uno como el otro comparten una historia dinámica, en la que han existido interacciones que es necesario investigar; por este motivo hemos incrementado los estudios que permiten conocer los mecanismos de crecimiento de los tejidos urbanos y su incidencia en la transformación del parcelario y del crecimiento de los edificios en altura. Todo ello, bajo la firme convicción de que el conocimiento sobre el patrimonio y su difusión a la sociedad resulta siempre el camino más directo y seguro para garantizar su conservación.

Como muestra de todo ello se presentan algunos proyectos en los que se puede apreciar el alcance de la aplicación de esta metodología. Todos fueron desarrollados en estos últimos años desde la Escuela de Estudios Árabes y encargados por diferentes administraciones públicas y privadas.

El Cuarto Real de Santo Domingo de Granada es un monumento nazarí de la segunda mitad del siglo XIII, cuyo estudio y restauración nos fue encomendado por el Ayuntamiento de Granada. Los primeros trabajos consistieron en el levantamiento planimétrico y documentación de todo el conjunto de edificios, jardines y huerta y en la realización de varias campañas de excavación que permitieron confirmar y perfilar hipótesis planteadas desde el estudio documental e histórico. La labor de consolidación y restauración de la *qubba* se desarrolló tras la redacción del oportuno proyecto. Para la restauración de pinturas y yeserías se contó con la colaboración de expertos de la Universidad de Granada así como con distintos laboratorios de análisis de materiales.

El estudio y puesta en valor del Alcázar Real de Guadalajara ha sido un trabajo encargado por el Ayuntamiento de esa ciudad, con la intención de sacar al monumento de la situación de abandono y objeto de polémica en que se encontraba. El fin buscado era potenciar la importancia que el monumento tiene para la sociedad sobre la base de ir desentrañando sus valores históricos, monumentales y ambientales en un proceso abierto y participativo. A las primeras labores de documentación, consolidación urgente y adaptación para la visita pública que se quiere mantener durante todo el proceso, ha seguido una intensa campaña de excavaciones arqueológicas que han sacado a la luz un interesantísimo ejemplo de arquitectura palatina de tradición andalusí construida por los monarcas castellanos.

Las actuaciones en el Alcázar de Sevilla se iniciaron a raíz de que el Patronato del Real Alcázar nos solicitara la confección de la planimetría completa del monumento, trabajo finalizado después de tres años. A partir de la documentación realizada, se han ido desarrollando una serie de investigaciones de carácter histórico y arqueológico, que dieron lugar al encargo de una serie de audiovisuales que permitiera al público que lo visita entender como fue este palacio en la Edad Media. Por medio de reconstrucciones virtuales y animaciones se ha explicado la forma de algunos de los palacios que integraron el conjunto y su evolución a lo largo de la Historia. Posteriormente se nos encomendaron los proyectos y la dirección de una serie de trabajos de restauración que también han ayudado a profundizar en el conocimiento del edificio. Para la preparación de la última intervención, se ha contado con un equipo interdisciplinar muy amplio con la participación de grupos de la Red Temática de Patrimonio Histórico y Cultural, de la Universidad de Granada y del INIA.

En el barrio del Albayzín de Granada existe un abundante grupo de casi un centenar de casas que fueron construidas o reformadas por los moriscos en el siglo XVI, muchas de ellas están todavía en un estado precario de conservación y son de propiedad privada. La Escuela de Estudios Árabes viene estudiándolas y realizando desde hace tiempo levantamientos planimétricos así como asesoramiento en su restauración. Actualmente estos trabajos se encuadran dentro de un proyecto del Plan Nacional I+D+i (HUM2006-12446) cuyos objetivos, además del conocimiento siguiendo la sistemática aplicada habitualmente en esta Escuela, incluyen diseñar unos criterios de intervención y una metodología orientada a su conservación, que sirva de guía a las instituciones y los profesionales implicados en su rehabilitación.

# El Laboratorio de Arqueoloxía da Paisaxe del IEGPS: contribuciones desde la Arqueología al Patrimonio Cultural

Felipe Criado-Boado, David Barreiro y César Parcero-Oubiña

*Laboratorio de Arqueoloxía da Paisaxe (LAr). Instituto de Estudos Galegos Padre Sarmiento (CSIC - Xunta de Galicia) Rúa San Roque, 2; 15704 Santiago de Compostela*

El actual Laboratorio de Arqueoloxía da Paisaxe (LAr), dependiente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y con estrechos lazos de colaboración con la Universidad de Santiago de Compostela desarrolla su actividad entrecruzando la Arqueología y el Patrimonio. El LAr es una unidad autofinanciada de investigación, formación y servicios. Ello quiere decir que su *razón de ser* es la investigación y la formación, y su *modo de ser* el servicio.

Esta unidad de investigación nació en el año 1991 en la Universidad de Santiago de Compostela (USC) como Grupo de Investigación en Arqueología del Paisaje (de hecho su origen se remonta al año 1987, pero en aquel momento todavía no se habían definido los grupos de investigación universitarios). En el año 1997 constituye el *Laboratorio de Arqueología y Formas Culturales* (LAFC), incorporado al Instituto de Investigaciones Tecnológicas (IIT) de esa Universidad. En el año 2001 se integra al *Instituto de Estudos Galegos Padre Sarmiento* (IEGPS), reconvertido desde marzo de 2000 en Centro Mixto del CSIC y la Xunta de Galicia. Actualmente el Grupo de Investigación está distribuido entre el *Laboratorio de Arqueoloxía da Paisaxe* del IEGPS y el *Laboratorio de Paleoambiente, Patrimonio y Paisaje* (LPPP) del IIT de la USC, denominación que adquirió el anterior LAFC en el año 2003, y que está vinculado al CSIC como Unidad Asociada.

El LAr desarrolla un programa sistemático e integral de investigación basado en la Arqueología del Paisaje y orientado hacia la gestión del Patrimonio Cultural mediante la Arqueología. Combina el ideal teórico con el pragmático, la investigación básica con la aplicada, el talante crítico y reflexivo de las Ciencias Sociales y Humanas (que poseen la *capacidad de incrementar la autoconciencia de nuestras sociedades* participando en la vida social misma y arriesgando una *continua interrelación entre la teoría y la práctica* que empieza por la vinculación entre el conocimiento y su aplicación) con la pretensión de *transformar la ciencia en economía del conocimiento* (buscando una interacción productiva con el sector económico-industrial, generando productos a partir de la investigación que originen riqueza y puestos de trabajo, y promoviendo una transformación activa de la sociedad a través de la investigación). Un ejemplo de la complejidad actual de la práctica arqueológica la aporta el hecho de que una investigación realizada en el seno del LAr (concretamente por César González Pérez) sobre tecnologías de la información aplicadas al Patrimonio y Arqueología, se ha convertido recientemente en el estándar australiano para la programación de metaobjetos y está en fase de evaluación por ISO para establecerse como estándar internacional; en principio, nada de esto tiene que ver ni con la Arqueología ni con el Patrimonio. Pero las semejanzas y desemejanzas son siempre meras apariencias; como Lévi-Strauss preconiza, conviene buscar la lógica que aproxima dominios o ámbitos de la realidad que en principio parecen distantes entre sí. Con esa mentalidad, el LAr trabaja en Patrimonio y Arqueología, sabiendo que en realidad podemos trabajar en y para otras cosas distintas.

Los objetivos genéricos de la investigación en Arqueología y Patrimonio que desenvuelve el LAr son:

- Producir investigación de calidad sobre temas de Prehistoria y Arqueología.
- Tender simultáneamente hacia un horizonte de aplicación, potenciando el I+D en Patrimonio, profundizando en la producción de contenidos, valores y criterios de intervención, y aprovechando para todo ello la proximidad entre la investigación básica y su aplicación.
- Contribuir desde el Patrimonio al conocimiento y aplicación reflexiva de temas críticos de nuestra época como el Turismo de calidad, la protección del Medio socio-natural, la Ordenación territorial, el Desarrollo sostenible, la Innovación, la Identidad, la Interculturalidad y la Globalización.

Desde un punto de vista 'tradicional' se podría decir que el LAr dispone de tres áreas principales de actividad: *investigación básica* en Prehistoria y Arqueología (vertebrada fundamentalmente dentro de un programa de investigación en Arqueología del Paisaje), *investigación aplicada* (orientada a la puesta a punto de convenciones y procedimientos de gestión del Patrimonio), y *prestación de servicios* técnicos especializados. Sin embargo creemos que es necesario, por obsoleto y limitado, superar esta clasificación y división del trabajo científico en investigación básica, aplicada y servicios. Es imprescindible sustituir esta visión por un nuevo paradigma que reconozca que en todas esos niveles de la misión científica hay una dimensión básica, otra aplicada y otra finalmente de servicio y valorización. A ello se aplica la práctica del LAr, que se propone cumplir con la exigencia de que la investigación en él desarrollada se comprometa con la actividad productiva, se vincule al desarrollo tecnológico, potencie la transferencia de tecnología, genere riqueza y fomente el empleo.

Para ello el LAr se basa en una filosofía de trabajo de vocación integradora: los resultados derivados de proyectos de investigación que permiten *evaluar la significación histórica* de los bienes arqueológicos e *innovar en metodologías* de trabajo, se reorientan con un sentido aplicado para transformar ese conocimiento en una *tecnología para la gestión actual del Patrimonio Arqueológico*, y se transfieren al entorno social y productivo bien como oferta de servicios, bien como productos acabados que puedan ser utilizados por terceros, bien como publicaciones de carácter especializado o divulgativo, o bien como iniciativas de formación especializada. Con ello se pretende contribuir al *incremento del conocimiento sobre el pasado* y, simultáneamente, al *desarrollo de una gestión integral del Patrimonio* (tanto Arqueológico como Cultural) producido por ese pasado mediante la *innovación y el desarrollo de tecnologías* que permitan localizar-intervenir-valorar-significar-conservar-rentabilizar las entidades patrimoniales y contribuyan a transformar éstas en valores culturales y recursos socioeconómicos. (Estos serían los *objetivos específicos* del LAr).

Todos los proyectos y actividades del LAr son diseñados como un ciclo completo de investigación y trabajo y aplican una concepción integral de la gestión del Patrimonio Cultural, que intenta articular conocimiento y utilidad práctica, investigación y gestión, como reflejo de la bidimensionalidad de ese Patrimonio, que es simultáneamente *documento* de las sociedades históricas y *recurso* para las sociedades actuales. Propugnar un modelo de *gestión integral del Patrimonio Cultural* implica comprender la práctica arqueológica como una unidad que se inicia en la identificación y recuperación del registro arqueológico, continúa con su valoración y estudio, ofrece soluciones a la administración actual de los bienes que lo integran, posibilita su rentabilización como recurso cultural, y culmina con la divulgación de los resultados del trabajo tanto entre público especializado como general. De este modo los ámbitos principales y sucesivos (cuando se aborda un proyecto en todas sus fases) de gestión del Patrimonio Cultural son: Catalogación, Evaluación (histórica y patrimonial), Intervención y Rentabilización.

# Arqueología de la Arquitectura y Patrimonio Edificado. Experiencias y perspectivas una década después

M. A. Utrero Agudo

*Instituto de Historia, Centro de Ciencias Humanas y Sociales, CSIC. Albasanz, 26-28; 28037 Madrid*

## Presentación

Desde hace algo más de una década, Luis Caballero Zoreda (Instituto de Historia, CSIC) ha venido desarrollando una doble línea de trabajo en la que convergen método analítico y modelo histórico. Los sucesivos proyectos de investigación han sido el marco para proceder a una labor de caracterización y revisión de la arquitectura eclesiástica peninsular de épocas tardoantigua y altomedieval. A su vez, la participación en distintos contratos de análisis paramental y posterior restauración ha servido para poner a punto la herramienta metodológica en el proceso de comprensión de arquitecturas de distintas épocas y tipos.

Aunque la labor desarrollada cuenta ya con una larga trayectoria (Caballero 2004), precisamente el hermanamiento entre ambas líneas científica y patrimonial ha permitido consolidar un grupo de investigación, formado por personal técnico, en formación y doctores, que se ha beneficiado de los distintos proyectos realizados.

## Proyectos de investigación

Como ya advertimos en nuestra anterior participación en esta misma reunión (Arce y Utrero 2005), los proyectos de investigación desarrollados se inscriben dentro de un debate historiográfico en el que se discuten los principios conceptuales, argumentales y metodológicos que han servido de base para definir la arquitectura peninsular de época tardoantigua y altomedieval y construir un modelo explicativo acorde y vigente hasta nuestros días. El nuevo modelo es, ante todo, una nueva propuesta histórica basada en una fuerte renovación metodológica.

En este sentido, los proyectos desarrollados se caracterizan por un planteamiento coherente de sus contenidos y de la consecución de resultados que han permitido avanzar en el afianzamiento del nuevo modelo histórico mediante la aplicación del método arqueológico. Como continuación de unos proyectos iniciales que abarcaron distintas regiones de la Península (1998–2001) y pusieron en marcha técnicas analíticas de datación (2002–2003), y a los que se sumaron la realización de análisis arqueológicos de otros edificios altomedievales singulares (Santa Comba de Bande, Santa Lucía del Trampal, São Gião de Nazaré, entre otros), los recientes trabajos se han centrado en la arquitectura de Extremadura, Portugal y Asturias.

Como ya han demostrado trabajos anteriores, los resultados han modificado en mayor o menor medida la comprensión de la mayoría de los edificios analizados. La redatación en fechas posteriores (Los Santiagos de Albuquerque), la identificación de una forma original inédita (Idanha-a-Velha, Segóbriga) o del proyecto constructivo causante de la forma final del edificio (San Miguel de Lillo) son sólo algunos de los resultados obtenidos con la aplicación del análisis arqueológico a los alzados construidos.

Los resultados conjuntos de los proyectos de investigación, aún en marcha, se concretan en la redefinición de la arquitectura de estas épocas mediante la obtención de secuencias constructivas y decorativas que constituyen la base para crear nuevas tipologías. A los argumentos tradicionales de datación, como la epigrafía o las fuentes documentales escritas, se suman ahora los de carácter estratigráfico, lo que da lugar a interpretaciones históricas más rigurosas. Al mismo tiempo, el método

se ha ido nutriendo de estas numerosas experiencias y ha variado entre apuestas estratigráficas y tipológicas.

### **Proyectos vinculados a la restauración o recuperación de monumentos históricos**

Paralelamente a estos proyectos, la participación en contratos con la administración pública o entidades privadas ha permitido gozar de un campo de experimentación y desarrollo adicional. Los trabajos realizados testimonian la validez y necesidad de la aplicación del método arqueológico en el conocimiento de los edificios históricos y, consecuentemente, en los trabajos de restauración.

Junto a edificios con una cronología original adscrita a época altomedieval, como la mezquita de Santa Clara (Córdoba) y la iglesia de San Isidoro de León, se han abordado extensos conjuntos monasteriales de época bajomedieval y moderna, como la Cartuja de Jerez de la Frontera (Cádiz) y San Martín de Valdeiglesias (Madrid), ambos analizados parcialmente hasta el momento. Aquí deben mencionarse también el análisis arqueológico de iglesias como San Estevo de Atán (Lugo), Nuestra Señora de la Asunción de Viñaspre (Álava), San Martín de Arlucea (Álava), San Pantaleón de Losa (Burgos) o la torre de San Pedro el Viejo (Madrid). Todos estos edificios estaban en fase de recuperación y restauración y el análisis arqueológico estableció, junto a las secuencias histórico-constructivas, un necesario código de actuación introducido en los correspondientes anteproyectos arquitectónicos de restauración.

### **Valoración**

Tanto los proyectos de investigación como aquellos vinculados a programas de restauración se caracterizan por aspectos comunes. Aunque los trabajos han respondido a distintos objetivos iniciales, la aplicación del método arqueológico se ha planteado de una misma manera y ha ofrecido idénticos resultados. Siempre que ha sido posible y sobre la base del análisis estratigráfico, se ha recurrido además a la consecución de datos cronológicos absolutos para situar en un tiempo histórico preciso o, al menos, relacionar las fases establecidas en la secuencia relativa. Estos son los ejemplos de los análisis dendrocronológicos practicados en las maderas de Santa Clara o de composición de morteros en Segóbriga, que vienen a sumarse a otros practicados en proyectos anteriores (Santa Comba de Bande, San Juan de Baños, San Pedro de La Nave). La arqueometría ha encontrado en el análisis paramental el marco sobre el cual desarrollar sus análisis.

En consecuencia, en los últimos años se ha consolidado una línea de investigación y trabajo que significa una nueva comprensión del patrimonio edificado, de su historia, de su estado actual y de sus posibilidades futuras.

# Arqueometalurgia: Historia y tecnología

Alicia Perea\*, Barbara Armbruster\*\*, Ignacio Montero Ruíz\* y Salvador Rovira Llorens\*\*\*

\* *Instituto de Historia, CSIC. C/ Albasanz 26-28, 28037 Madrid.*

\*\* *CNRS, UMR5 5608. Maison de la Recherche. Université de Toulouse le Mirail. 5, allées Antonio Machado. F-31058. Toulouse cedex.*

\*\*\* *Museo Arqueológico Nacional. C/ Serrano 13, 28001-Madrid.*

La tecnología metalúrgica ha sido un campo de interés para la Arqueología desde que empezaron a desarrollarse métodos analíticos instrumentales. En la explicación evolucionista de la historia, la tecnología ha tenido un papel de referencia fundamental. Los avances y mejoras tecnológicas se vinculan a cambios y avances sociales y económicos. El metal como tecnología desarrollada a partir de la Prehistoria Reciente adquiere un valor informativo de referencia y su estudio se ha orientado principalmente bajo tres perspectivas:

- 1- Tipología o descripción formal de los objetos, como investigación arqueológica tradicional orientada a buscar fósiles-guía de las diferentes etapas y culturas.
- 2- Historia de la tecnología. Durante gran parte del siglo XX estuvo basada en el análisis elemental, principalmente de los objetos, siendo el interés por los residuos metalúrgicos secundario.
- 3- Procedencia de materias primas y metales como explicación de mecanismos de intercambio y relaciones culturales, realizada tanto a través de una aproximación tipológica mediante modelos de dispersión, como una aproximación analítica basada en los modelos de impurezas y recientemente con análisis de isótopos de plomo.

Además de estos tres enfoques generales podemos destacar otras perspectivas de investigación que han marcado el rumbo del grupo de investigación de los autores. Por un lado se encuentra el interés por profundizar en el conocimiento de la especialización artesanal como indicador de la complejidad socioeconómica dentro de una sociedad. La especialización artesanal es considerada un factor clave en la economía política de sociedades complejas.

Finalmente, entre las nuevas aproximaciones que engloba la investigación arqueometalúrgica se encuentra el estudio del cambio tecnológico, pero concebido desde una doble perspectiva: interna y externa. La interna explica el cambio a partir del propio sistema tecnológico, es decir qué cambia y cómo cambia a partir de los conocimientos preexistentes y de la invención. Esta parte de la investigación ha estado fuertemente ligada al enfoque de la Historia de la Tecnología. La segunda perspectiva, que trata de dar respuesta a la pregunta ¿por qué cambia?, aborda este cambio desde fuera de la tecnología, desde una comprensión de la sociedad, economía y política en la que esa tecnología funciona y que son los factores que desencadenan el cambio a través de los mecanismos de innovación y adopción.

Desde el punto de vista científico, podemos destacar una tendencia que va adquiriendo mayor peso: la interdisciplinariedad, un reto ineludible para cualquier planteamiento científico serio. El arqueólogo ya no trabaja aisladamente sino que tiene que entenderse y coordinarse con todo tipo de especialistas y especialidades; este hecho produce un efecto positivo, no solamente desde el punto de vista metodológico, sino teórico, al ampliarse las perspectivas de un trabajo en equipo.

Estas investigaciones sobre la metalurgia se apoyan en una serie de técnicas de análisis que suministran una información, que posteriormente es interpretada desde el punto de vista histórico. La visión analítica de la cultura material constituye un campo de especialización arqueométrico de amplio futuro, dificultado únicamente por la accesibilidad del objeto arqueológico y los recursos económicos destinados a la investigación.

Las técnica aplicada por el grupo de investigación al análisis elemental de los metales ha sido principalmente la espectrometría por fluorescencia de rayos X (XRF), y en menor medida PIXE.

Para la reconstrucción de los procesos de fabricación a través de las huellas que las herramientas y otros tratamientos térmicos dejan sobre la superficie metálica, se ha utilizado la metalografía óptica, pero también ha tenido un papel fundamental la microscopía electrónica de barrido (SEM). La utilización de instrumentos ópticos de observación ha sido habitual en la investigación sobre metalurgia, pero la verdadera revolución llegó con la microscopía electrónica de barrido que permitía, en un mismo equipo, la observación topográfica del objeto, a grandes aumentos, y la realización de microanálisis no destructivos. El acceso a estos equipos tuvo carácter extraordinario en Arqueología hasta bien entrada la década de los 80, convirtiéndose rápidamente en un recurso habitual de la investigación a partir de los 90.

El trabajo desarrollado por el grupo de investigación se encuadra en dos grandes programas de actuación que acumulan una gran cantidad de datos comparativos y permiten estudios tanto individuales como de síntesis:

### **1.- El Proyecto Au (Ag+Cu)**

Cuenta con un archivo de imágenes y datos analíticos que viene formándose desde 1985 en el seno del *Proyecto Au (Ag-Cu)* gracias a diversas colaboraciones institucionales, especialmente con la Unidad de Metalurgia Física del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CENIM (CSIC) y también con otros organismos y laboratorios españoles y europeos. Actualmente cuenta con unas 5.000 macrofotografías digitales en color de objetos fundamentalmente en oro y plata, pero también en aleaciones de base cobre, que documentan aspectos técnicos, iconográficos y de conservación de hallazgos y conjuntos arqueológicos procedentes de la Península Ibérica. Al archivo de imágenes macro hay que añadir más de 600 micrografías de estructuras metalográficas tomadas en microscopio electrónico de barrido (MEB), con su correspondiente microanálisis por dispersión de energía. Esta cifra está constantemente en aumento, según avanzan los distintos Proyectos de Investigación concretos de los que se nutre.

### **2.- Proyecto Arqueometalurgia de la Península Ibérica**

Cuenta con una base de datos sobre composición de metales de cerca de 20.000 análisis realizados por XRF con equipamiento propio desde 1982, que cubre materiales desde el Calcolítico hasta la Edad Media, principalmente de aleaciones de base cobre, y en menor medida objetos de oro, plata y plomo. Por otra parte el estudio de escorias y restos vinculados a la producción metalúrgica realizados con SEM dispone de cerca de 4000 tomas analíticas, incluyendo en este caso la metalurgia del hierro. También se dispone de 2000 metalografías de objetos prehistóricos y más recientemente se han empezado a realizar análisis de microdureza con el fin de completar la caracterización de las producciones metálicas.

Los resultados de estas investigaciones se encuentran publicados en más de 300 trabajos de todo tipo, gran parte de ellos de ámbito internacional.



# Los paisajes culturales preindustriales. Patrimonio y recursos sociales

F.J. Sánchez-Palencia, A. Orejas, I. Sastre y M. Ruiz del Árbol

*GI Estructura Social y Territorio - Arqueología del Paisaje (EST-AP). Instituto de Historia, Centro de Ciencias Humanas y Sociales, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Albasanz, 26-28; 28037 Madrid*

A lo largo de las dos últimas décadas el grupo de investigación *GI Estructura Social y Territorio - Arqueología del Paisaje (EST-AP)* ha venido desarrollando una labor investigadora centrada en el estudio, valoración y difusión de los paisajes culturales. Sus primeras actuaciones se iniciaron a los largo de la década de los 80 del siglo pasado, todavía dentro de una perspectiva funcionalista y coincidiendo con la generalización, con notable retraso en nuestro país, del uso de las técnicas analíticas procedentes de otras disciplinas científicas aplicadas a la Arqueología. Dentro de esa corriente multidisciplinar, y por lo tanto con la colaboración de especialistas de otras áreas científicas, se enmarcan los primeros trabajos sobre el proceso de transición de la época prerromana a la romana en las zonas mineras hispanas.

En su posterior desarrollo, la línea de investigación del GI ha girado siempre en torno a la concepción del paisaje como síntesis cultural de las relaciones sociales y su plasmación sobre el territorio y ha ido aplicando para su estudio métodos y técnicas de análisis específicos.

El objetivo fundamental sigue siendo el estudio de las sociedades protohistóricas y provinciales hispanas y sus procesos de cambio. Su marco de aplicación fundamental ha sido el Noroeste de la Península Ibérica, en particular el antiguo territorio astur, ampliándose más recientemente a otras zonas del Occidente de Hispania (sectores de Lusitania, del territorio cántabro y algunas zonas béticas). Los estudios enfocados desde esta concepción del paisaje han permitido realizar una lectura novedosa del registro arqueológico prerromano, tanto dentro de los asentamientos como en el territorio. A partir de aquí se ha realizado una revisión de las formas de organización social, formulando un modelo de economía doméstica dentro de sociedades segmentarias y llamando la atención sobre la no-jerarquización de las comunidades y la independencia espacial de los asentamientos. En cuanto a la época romana, el estudio se ha centrado en las formas de organización territorial y social del mundo rural, incluyendo como un elemento esencial las zonas mineras. Se ha abordado un amplio abanico de cuestiones como la investigación de técnicas mineras, del estudio del estatuto jurídico del suelo provincial, del trabajo en las minas, el análisis de estructuras agrarias y modelos de poblamiento, así como de fuentes escritas. Gracias a ello ha sido posible la revisión de la imagen tradicional de la influencia romana sobre estos territorios, que resulta ser mucho más profunda de lo admitido. Para ello se ha propuesto un modelo social cuya principal característica es la ruralidad, y que responde a las formas de organización jurídica, fiscal y administrativa romanas existentes en otros territorios preindustriales urbanizados.

Todo ello ha sido posible gracias a una reflexión teórica y metodológica en torno a la noción de paisaje y las formaciones sociales antiguas. El concepto de paisaje supone un acercamiento integral a las diversas fuentes de información, que implica el análisis global de las mismas y el desarrollo de las técnicas necesarias para cada tipo de documento, partiendo de la base de que es incorrecta su jerarquización. Para facilitar esta tarea se ha recurrido a diversas técnicas de tratamiento de datos y de ordenación de la información que permiten ese análisis integral. Además de la elaboración de SIG, se ha puesto a punto de una serie de técnicas y documentos que han contribuido a la interpretación de los datos (teledetección, tratamiento informático de datos e imágenes, fotointerpretación, análisis geoarqueológicos y paleoambientales) y a facilitar el análisis morfológico del registro arqueológico (asentamientos y territorios) y epigráfico (soportes y decoración).

Al mismo tiempo y en paralelo, este tratamiento de la información se ha orientado hacia las labores de gestión y planificación del patrimonio cultural, puesto que se considera que la difusión social y la generación de recursos explotables a partir de los resultados de la investigación es un objetivo

prioritario. Como resultado de todo ello, en la última década se han emprendido actuaciones concretas en varias zonas del Noroeste peninsular: la Zona Arqueológica de Las Médulas (León), la Zona Arqueológica de El Cabaco (Salamanca), la Zona Minera de Pino del Oro (Zamora) y la comarca del Bierzo (León) en general.

El equipo ha mantenido una importante presencia internacional, sobre todo a través de su participación en la Acción COST G2, *Paysages Antiques et Structures Rurales: Archaeologie et Textes (PASTA)* y a la dirección de la Acción COST A27 *Understanding pre-industrial structures in rural and mining landscapes (LANDMARKS)*.

# Metodologías Láser en la Conservación del Patrimonio Cultural

M. Oujja, S. Gaspard, M. Walczak, M. Martín y M. Castillejo

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

Los materiales y tecnologías utilizados en los procesos artísticos y en la fabricación de objetos y estructuras de relevancia histórica reflejan los conocimientos y usos de la sociedad en la que fueron concebidos. La investigación científica en el ámbito del Patrimonio Cultural (PC) para el estudio de sus aspectos materiales y para el diseño de estrategias de conservación, se enfrenta a un sinnúmero de retos debido a la complejidad y valor intrínseco de los sustratos y objetos, a su historia pasada de exposición a agentes de deterioro y al paso del tiempo. La Fotónica, que se ocupa de la generación, control, y detección de fotones (particularmente en el visible e infrarrojo cercano, pero asimismo en el ultravioleta, IR lejano y la región de los THz), junto con las técnicas basadas en haces de neutrones y radiación de sincrotrón, ofrecen soluciones innovadoras a dichos retos. En las últimas décadas el rápido desarrollo experimentado por los dispositivos y técnicas láser ha proporcionado nuevas metodologías y soluciones en la ciencia de la conservación. El amplio rango de materiales utilizados en obras de arte u objetos del PC, junto con la complejidad de procedimientos de uso, requiere el concurso de varias disciplinas dentro de la ciencia de materiales, la química y la biología para el correcto análisis y caracterización de los procesos de envejecimiento y/o deterioro.

El uso creciente de los sistemas láser en la limpieza de obras de arte y objetos del PC se sustenta en su éxito en la aplicación a diversos problemas de conservación, pero de manera más importante en los avances efectuados en la comprensión de los mecanismos operativos en la interacción del láser con los materiales y sustratos tratados y en la caracterización de las consecuencias potenciales de dicha interacción. Debido a ello los estudios de tipo fundamental en sistemas modelo son imprescindibles.

Dentro de este ámbito la actividad del grupo del Instituto de Química Física Rocasolano se extiende en tres líneas complementarias: a) estudios fundamentales sobre la interacción de la radiación láser con sustratos modelo; b) aplicación de las técnicas de limpieza láser a casos reales de conservación; c) desarrollo y aplicación de técnicas de espectroscopía láser para el análisis y diagnóstico de materiales y objetos del PC.

En el apartado a) se han considerado sistemas consistentes en dopantes fotolábiles dispersos en polímeros, fabricados como imitación de los barnices o medios ligantes fotosensibles, en un esfuerzo para modelar la limpieza de pinturas artísticas y policromías. De este modo es posible probar la magnitud y el tipo de modificaciones químicas inducidas por irradiación láser del sustrato y por tanto obtener información de las modificaciones potenciales que acompañan a la limpieza láser. Los estudios detallados realizados en los sistemas modelo mencionados han abordado el efecto de los parámetros láser, longitud de onda, fluencia (energía por unidad de área) y duración del pulso, así como la influencia de las propiedades del sustrato incluyendo el coeficiente de absorción, la composición química y el peso molecular. Nuestros resultados han resaltado la importancia de este último parámetro cuyo efecto no había sido estudiado con anterioridad.

El método de limpieza láser está bien establecido como procedimiento de restauración de artefactos o monumentos mediante la utilización de un amplio conjunto de sistemas láser con duración de pulso en el rango de nanosegundos ( $1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$ ) o mayor. La aplicación de pulsos láser de más corta duración, en la escala de femtosegundos ( $1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$ ), presenta nuevas e interesantes posibilidades para abordar tratamientos de alta exigencia, como por ejemplo la limpieza de policromías o de materiales fotosensibles, como los utilizados en la pintura contemporánea. La extrema resolución espacial del proceso de ablación en el que se sustenta la limpieza láser y la reducción de los efectos térmicos y fotoquímicos sobre el sustrato anticipan el éxito de la utilización de láseres de pulso ultracorto en algunas aplicaciones. Nuestro grupo realiza investigaciones sobre la limpieza láser de sustratos pictóricos, pergaminos y documentos históricos utilizando láseres de fs.

Además de los estudios de carácter fundamental reseñados en párrafos anteriores, el grupo del Instituto Rocasolano colabora con restauradores e Instituciones del Patrimonio en estudios y aplicación de limpieza láser sobre monumentos y obras de arte. Sirvan como muestra los trabajos realizados en las pinturas murales sobre mortero de la iglesia fortaleza de Santa Tecla de Cervera de la Cañada, Zaragoza, ss. XV, ejemplo de arquitectura Mudéjar en Aragón, sobre los brocados aplicados en esculturas en madera de la Capilla de San Miguel, Catedral de Jaca, Huesca, ss. XVI, y sobre esculturas en terracota del tímpano del portal de Palos de la Catedral de Sevilla.

Por último, las espectroscopías láser de fluorescencia inducida, plasma y Raman han demostrado su utilidad y éxito en un rango amplio de aplicaciones para el análisis elemental o para la identificación de compuestos a escala micrométrica. Estas técnicas, por sí mismas o en combinación, proporcionan datos complementarios con la consiguiente mejora de la calidad de la información proporcionada y además permiten el seguimiento y control on line del proceso de intervención durante los trabajos de conservación. Debido a su carácter no destructivo o mínimamente intrusivo, se elimina la necesidad de toma de muestra. Una ventaja añadida, cuando los sistemas vienen acompañados de fuentes láser transportables, es la posibilidad de acceso a objetos valiosos, eliminando la necesidad de transporte, y a estructuras del patrimonio inmueble. En la bibliografía reseñada mas abajo destacan algunos ejemplos de aplicación de las técnicas LIF (laser induced fluorescence), LIBS (laser induced breakdown spectroscopy) y Raman al análisis de diversos objetos del PC, tales como vidrios históricos, tintas sobre documentos, pigmentos, etc.

### Trabajos recientes

- M. Walczak, M. Oujja, L. Crespo-Arcá, A. García, C. Méndez, P. Moreno, C. Domingo, M. Castillejo, Femtosecond laser pulse irradiation of ancient parchment, enviado a *Appl. Physics A*.
- S. Gaspard, M. Oujja, P. Moreno, C. Méndez, A. García, C. Domingo, M. Castillejo, Interaction of femtosecond laser pulses with tempera paints, aceptado en *Appl. Physics A*.
- S. Gaspard, M. Oujja, E. Rebollar, C. Abrusci, F. Catalina, M. Castillejo, Characterization by laser induced breakdown spectroscopy of the materials of black-and-white silver-gelatine cinematographic films, aceptado en *Spectrochim. Acta B*.
- E. Rebollar, M. Oujja G. Bounos, A. Kolloch, S. Georgiou M. Castillejo, Analysis of plume following UV laser ablation of doped polymers: dependence on polymer molecular weight, *Journal of Applied Physics* 101 (2007) 033106-1.
- A. Kamińska, M. Sawczak, M. Oujja, M. Castillejo, G. Śliwiński, Pigment identification of a XIV/XV c. wooden crucifix by means of the Raman spectroscopic technique, *J. Raman Spectros.* 37 (2006) 1125.
- M. Oujja, E. Rebollar, M. Castillejo, C. Domingo, C. Cirujano, F. Guerra-Librero, Laser cleaning of terracotta decorations of the portal of Palos of the Cathedral of Seville, *J. Cult. Herit.* 6 (2005) 321.
- M Oujja, A. Vila, E. Rebollar, J.F. García, M. Castillejo, Identification of inks and structural characterisation of contemporary artistic paints by LIBS. *Spectrochim. Acta B* 60 (2005)1140.
- N. Carmona, M. Oujja, E. Rebollar, H. Röemich, M. Castillejo, Comparative study of LIBS and usual techniques applied on corroded glasses, *Spectrochim. Acta B* 60 (2005) 1155.
- SS. Potgieter-Vermaak, R.H.M. Goodoi, R. van Grieken, J.H. Potgieter, M. Oujja, M. Castillejo, Microstructural characterisation of black crust and laser cleaning of building stones by micro-Raman and SEM techniques, *Spectrochim Acta A* 61 (2005) 2460.
- M. Castillejo, M. Martín, M. Oujja, D. Silva, R. Torres, V. Zafiropoulos, O.F. van den Brink, R.M.A. Heeren, R. Teule, A. Silva, Analytical study of the chemical and physical changes induced by KrF laser cleaning of tempera paints, *Anal. Chem.* 74 (2002) 4662.

# Aplicaciones de la espectroscopía Raman intensificada por superficies metálicas nanoestructuradas (SERS) a la determinación de pigmentos y tintes orgánicos de interés en el Patrimonio Cultural

Z. Jurasekova, M.V. Cañamares, S. Sánchez-Cortés, C. Domingo y J.V. García-Ramos

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

El grupo de investigación “Técnicas espectroscópicas en la Conservación del Patrimonio” de la Red Temática de Patrimonio Artístico y Cultural del CSIC lleva a cabo desarrollos experimentales en la técnica SERS (*Surface-enhanced Raman Scattering*), y desde hace algunos años ha comenzado a aplicarla a la caracterización de pigmentos y tintes orgánicos de interés en el Patrimonio Cultural, cuya identificación supone un verdadero reto. De hecho desde hace 27 años se celebra anualmente un Congreso (“*Dyes in History and Art*”, DHA) en el que se reúnen historiadores, conservadores y científicos a la búsqueda de mejores métodos de caracterización de colorantes orgánicos naturales que, preferiblemente, sean no destructivos o micro destructivos y que puedan aplicarse *in situ*.

La espectroscopía-microscopía Raman se viene utilizando desde comienzos de los 90 para la identificación de pigmentos minerales ya que esta técnica es no destructiva, requiere muy poca cantidad de muestra y no necesita preparación alguna de la misma. Además ya existen en el mercado instrumentos Raman transportables que permiten hacer el diagnóstico *in situ*. Sin embargo la aplicación de la espectroscopía Raman al estudio e identificación de pigmentos y tintes orgánicos se ha visto impedida en muchos casos debido a que la enorme fluorescencia que presentan estos compuestos al ser iluminados por el láser utilizado para excitar el efecto Raman, oculta los correspondientes espectros Raman. Además, la baja sensibilidad de la técnica supone una desventaja a la hora de identificar los pigmentos y tintes orgánicos en muestras reales, ya que estos se encuentran normalmente en concentraciones a nivel traza y muy dispersos. Para soslayar el problema de la fluorescencia se puede acudir a utilizar un láser de excitación en el infrarrojo próximo, como se hace en la técnica FT-Raman, pero subsiste el problema de la baja sensibilidad. Hace unos 30 años se descubrió una nueva técnica Raman denominada en inglés *Surface-Enhanced Raman Scattering*, (SERS), o espectroscopía Raman intensificada por superficies metálicas nanoestructuradas, en la que se puso de manifiesto que la intensidad de los espectros Raman de moléculas adsorbidas o muy próximas a tales superficies puede aumentar hasta 6 órdenes de magnitud ( $10^6$ ) (o más en el caso de Resonancia Raman) respecto de la intensidad de los correspondientes espectros en ausencia del metal. Además en estas condiciones la fluorescencia se atenúa de modo muy considerable, ya que no es intensificada como lo es el espectro Raman. Nos encontramos así con que, utilizando la técnica SERS, desaparecen los dos inconvenientes de la espectroscopía Raman convencional que dificultaban la aplicación de la misma a la identificación de pigmentos orgánicos.

Los resultados de nuestros trabajos de caracterización mediante SERS de algunos de los pigmentos orgánicos de la familia de las antraquinonas, curcuminoides y flavonoides pueden encontrarse en las referencias aquí mencionadas, junto con desarrollos de nuevos sustratos SERS aplicables a detección de dichos pigmentos en muestras reales e, incluso, *in situ*.

Para ilustrar el trabajo realizado, en la Figura 1 pueden verse los resultados que hemos obtenido sobre una fibra de seda teñida con gualda (*weld* en inglés). Cabe decir aquí que el pigmento mayoritario de la gualda es el flavonoide luteolina. En el espectro Raman de la fibra teñida, a), solamente se ve la seda. Cuando, obtenemos el espectro SERS, b) de la misma muestra formando sobre la fibra de seda teñida nanoestructuras de plata siguiendo el método de fotoreducción en una

disolución de nitrato de plata  $10^{-3}$  M puesto a punto por nosotros, lo que se ve es la luteolina, como lo demuestra el que el espectro b) concuerda con los c) y d), que corresponden a espectros SERS de luteolina pura, obtenidos en las condiciones que se mencionan en el pie de figura. La conclusión es que la técnica SERS, utilizando nuestro método de producción de nanopartículas de plata sobre la muestra, permite la *extracción de la información* sobre el pigmento, sin que interfiera el soporte (la seda en este caso) y sin que sea necesario llevar a cabo una *extracción química* del pigmento, proceso que es el que se viene utilizando en otros casos para después aplicar, por ejemplo, HPLC para la identificación del pigmento.

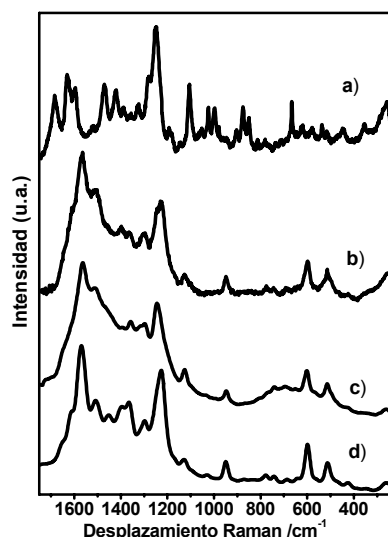


Figura 1. a) Espectro Raman a 785 nm de una fibra de seda teñida con gualda. b) Espectro SERS de la misma fibra tras haber depositado nanopartículas de plata formadas por fotoreducción. c) Espectro SERS de luteolina  $10^{-5}$  M utilizando nanopartículas de plata como en b). d) espectro SERS de luteolina  $10^{-5}$  M sobre coloides de plata de citrato a pH neutro. En a), b) y c) se ha utilizado un láser a 514 nm.

**Agradecimientos.** Estos trabajos han sido parcialmente financiados por el Ministerio de Educación y Ciencia (Proyecto FIS2004-00108) y el CSIC (PIF2005 - MADIARP). Agradecemos también el apoyo recibido de la Red Temática de Patrimonio Histórico y Cultural (CSIC). Z.J. agradece a la UE por la “Marie Curie Early Stage Research Training Fellowship” concedida en el 6º Programa Marco (Contrato MEST-CT-2004-513915).

## Referencias

- Cañamares, M.V., Sanchez-Cortes, S., Gómez-Varga, J.D., Domingo, C. y Garcia-Ramos, J.V. 2005. Comparative Study of the Morphology, Aggregation, Adherence in Glass and SERS activity of Silver Nanoparticles Prepared by Chemical Reduction of  $\text{Ag}^+$  using Citrate and Hydroxylamine. *Langmuir* 21: 8546-8553.
- Cañamares, M.V., Garcia-Ramos, J.V., Gómez-Varga, J.D., Domingo, C. y Sánchez-Cortés, S. 2007. Ag nanoparticles prepared by laser photoreduction as substrates for in situ Surface-enhanced Raman Scattering analysis of dyes. *Langmuir* 23: 5210-5215.
- Cañamares, M.V., Garcia-Ramos, J.V., Domingo, C. y Sanchez-Cortes, S. 2004. Surface-enhanced Raman scattering study of adsorption of the anthraquinone pigment alizarin on Ag nanoparticles. *Journal of Raman Spectroscopy* 35: 921-927.
- Cañamares, M.V., Sevilla, P., Sanchez-Cortes, S. y Garcia-Ramos, J.V. 2006. Surface-Enhanced Raman Scattering study of the interaction of red dye alizarin with ovalbumin. *Biopolymers* 82: 405-409.
- Cañamares, M.V., García-Ramos, J.V., Domingo, C. y Sánchez-Cortés S. 2006. Surface-enhanced Raman Scattering study of the anthraquinone red pigment Carminic Acid. *Vibrational Spectroscopy* 40: 161-167.
- Murcia-Mascarós, S., Domingo, C., Sanchez-Cortes, S., Cañamares, M.V. y Garcia-Ramos J.V. 2005. Spectroscopic identification of alizarin in a mixture of organic red dyes by incorporation in Zr-ORMOSIL. *Journal of Raman Spectroscopy* 36: 420-426.

- Cañamares, M.V., García-Ramos, J.V. y Sánchez-Cortés, S. 2006. Degradation of curcumin dye in aqueous solution and on Ag nanoparticles studied by UV-visible absorption and SERS spectroscopy. *Applied Spectroscopy* 60: 1386-1391.
- Jurasekova, Z., Garcia-Ramos, J.V., Domingo, C. y Sanchez-Cortes, S. 2006. Surface-enhanced Raman Scattering of flavonoids. *Journal of Raman Spectroscopy* 37: 1239-1241.
- Jurasekova, Z., Domingo, C., Garcia-Ramos, J.V. y Sanchez-Cortes, S. 2007. Vibrational spectroscopy as an analytical tool in the identification and characterization of natural dyes employed in the Cultural Heritage. *Coalition Newsletter* 14:14-20 (<http://www.rtphc.csic.es/PDF/NL14.pdf>).





# La Petrología: una disciplina básica para el avance de la investigación y conservación del Patrimonio

R. Fort<sup>\*, \*\*</sup>, M.A. Garcia del Cura<sup>\*, \*\*</sup>, M.J. Varas<sup>\*, \*\*\*</sup>, A. Bernabéu<sup>\*\*\*, \*\*\*\*</sup>, M. Alvarez de Burgo<sup>\*</sup>, D. Benavente<sup>\*\*, \*\*\*\*</sup>, E. Pérez-Monserrat<sup>\*</sup>, J. Martínez-Martínez<sup>\*, \*\*</sup>, M.C. Vazquez-Calvo<sup>\*</sup>

*\*Instituto de Geología Económica (CSIC-UCM)*

*\*\*Unidad Asociada Petrología Aplicada (CSIC-UA)*

*\*\*\*Departamento de Petrología y Geoquímica (UCM)*

*\*\*\*\*Departamento de Ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente (UA)*

El Patrimonio histórico artístico español es muy variado y constituye el reflejo de culturas muy diferentes que evolucionan en épocas muy distintas, debido en parte a la situación geográfica privilegiada de la Península Ibérica, al ser zona de unión de tres continentes. Todas estas culturas han utilizado la piedra para la fabricación de sus útiles de caza, defensa, utensilios domésticos, adornos, simbología religiosa, etc. Pero ante todo, la piedra es la materia prima tradicional por excelencia utilizada en el patrimonio construido de todas estas culturas.

La petrología, como una disciplina de las Ciencias Geológicas, aporta desde sus distintas especialidades -petrografía, geoquímica, petrofísica, geocronología, etc.-, unos conocimientos que permiten caracterizar para a continuación poder establecer unas pautas de actuación en la Conservación del Patrimonio Histórico y Cultural construido con materiales pétreos. Toda actuación en la conservación de este patrimonio tiene que partir de un conocimiento profundo de las características, tanto intrínsecas como extrínsecas de la piedra de construcción y de las causas de su deterioro. Este conocimiento adquirido, se debe transmitir al resto de los profesionales y técnicos que participan en las labores de conservación-restauración (arquitectos, historiadores, restauradores, químicos, físicos, biólogos, etc.), para poder establecer con rigor los criterios de restauración más idóneos para la conservación de la piedra. Una obra de restauración no fracasará, si el proyecto de restauración recoge todos los conocimientos aportados por todos los especialistas que en distintos campos de la restauración pueden ser englobados. Hoy en día no se discute la utilidad de los conocimientos petrológicos para abordar eficazmente las intervenciones de restauración de un bien patrimonial. Desde que se inicia el proyecto, con las distintas fases de estudios previos; durante la redacción del proyecto de restauración, y a lo largo de la fase de ejecución de los trabajos de la intervención, y hasta en las distintas fases de mantenimiento del edificio una vez finalizada la obra, la aportación de los estudios petrológicos está presente y es muy significativa. La petrología es de gran utilidad no sólo para la caracterización de los materiales, la determinación de la autenticidad de aquello que se quiere conservar y el establecimiento de la procedencia de los materiales, sino que también esclarece cuáles han sido las causas y mecanismos de su deterioro y los factores que han incidido en dichas causas. Todo ello es de gran importancia para definir los criterios de actuación que han de quedar bien reflejados en los proyectos de restauración previos a cualquier intervención.

Las características petrológicas del material, y el ambiente en el que se encuentra, condicionan el deterioro de los materiales con los que está construido un monumento o pieza arqueológica. Por ello es importante tener un conocimiento integral del monumento o edificio antes del proceso de intervención.

Es imprescindible para ello realizar una completa y exhaustiva caracterización de los materiales, determinar las técnicas constructivas empleadas, conocer los efectos del entorno sobre el edificio y de las incompatibilidades entre materiales y técnicas de rehabilitación anteriormente utilizadas, etc., todo ello utilizando las técnicas analíticas adecuadas. La utilización de técnicas tradicionales de caracterización, conjuntamente con técnicas no destructivas, permite el conocimiento más profundo del estado de conservación de los materiales, pudiendo de este modo establecer el grado y el alcance de la intervención a realizar en cada elemento patrimonial.

Conociendo las propiedades petrológicas, químicas y físicas de los materiales y el grado de deterioro que presentan, y determinando las causas de su deterioro, se podrán definir las actuaciones a realizar,

proponiendo técnicas preventivas de conservación o la elección de las técnicas de limpieza o piedra de sustitución más adecuadas, así como definir los métodos y productos de consolidación y protección de los materiales. Todo ello debe encaminarse a evitar intervenciones incorrectas y muy nocivas, por desconocimiento del patrimonio histórico y cultural.

En el trabajo que se presenta se muestran diferentes ejemplos donde los análisis petrológicos de los materiales han aportado conocimientos sobre las causas de deterioro y las medidas a tomar, que han permitido llevar a cabo intervenciones adecuadas sobre la base del conocimiento de las propiedades de los materiales pétreos involucrados en nuestro Patrimonio. Igualmente se muestran aportaciones en donde la petrología ha permitido un avance significativo en el conocimiento de técnicas de conservación de materiales pétreos utilizados en el patrimonio construido.

# Geología - Geoquímica - Microclima aplicados a la conservación del Patrimonio

Sergio Sánchez-Moral\*, Soledad Cuezva\*, Angel Fernández-Cortés\*\* y Juan C. Cañaveras\*\*

*\*Museo Nacional de Ciencias Naturales (Departamento de Geología), CSIC, José Gutiérrez Abascal, 2. 28006-Madrid.*

*\*\*Unidad Asociada-Laboratorio Petrología Aplicada UA-CSIC Dpto. CC. De la Tierra y del Medioambiente, Universidad Alicante.*

El equipo de investigación de Geología - Geoquímica - Microclima aplicados a la Conservación del Patrimonio se formó bajo la dirección de Manuel Hoyos Gómez y actualmente está coordinado desde el Departamento de Geología del MNCN e integrado por miembros de ese centro de investigación y de la Unidad Asociada -Laboratorio Petrología Aplicada Univ. Alicante-CSIC.

En el campo de la Conservación del Patrimonio, nuestras investigaciones se enfocan especialmente al estudio integrado de ambientes subterráneos (cuevas, catacumbas, etc.) y al estudio de los procesos de deterioro de representaciones artísticas prehistóricas: medioambiente (microclima), geología-geoquímica y geomicrobiología.

La experiencia del equipo incluye el estudio de algunas de las más relevantes cuevas y abrigos rupestres con arte prehistórico de la Península Ibérica y de las Islas Canarias. De entre los estudios de larga duración llevados a cabo destacan los trabajos realizados en los principales abrigos con arte rupestre de Andalucía (Tajo de las Figuras, Atlanterra, Letreros, Graja, Encajero, Peñas Cabrerías) y Castilla la Mancha (Villar del Humo) y en diferentes cuevas españolas como la Cueva de Tito Bustillo, Candamo, Ardales, Zuheros, Santimamiñe, Gáldar y especialmente en la Cueva de Altamira, donde se trabaja en esta línea desde 1996. En esta misma línea se han llevado a cabo estudios específicos de diagnóstico y prevención de daños por actividades antrópicas en varias cuevas con arte rupestre del Principado de Asturias (La Loja, El Buxu, El Pindal), de Cantabria (Santián, Cobrante, Urdiales) y del País Vasco (Arenaza, Altxerri, Ekain, Ventalaperra). Asimismo, se han realizado trabajos similares en la Grotta dei Cervi (Italia) que constituye uno de los principales ejemplos de ese país dentro de las cuevas kársticas con arte rupestre neolítico. Recientemente participamos en un proyecto europeo para el estudio de las condiciones de conservación de las Catacumbas Romanas de Domitilla y San Calixto. En la actualidad, además de los estudios en Altamira, coordinamos los trabajos geoarqueológicos en la Cueva de El Sidrón (Asturias), dirigimos diversos estudios para la conservación de la Necrópolis de Carmona (Sevilla), Cueva de Doña Trinidad (Ardales, Málaga), Cueva de Castañar de Íbor (Cáceres) y Cueva del Canelobre (Alicante). Por último, participamos en el Proyecto Djehuty, cuyos objetivos son la excavación, restauración y estudio de las tumbas de Djehuty y de Hery situadas en Dra Abu el-Naga, una de las necrópolis de la orilla oeste de la antigua Tebas, en la región de Luxor (Egipto).

El principal beneficio de esta dilatada experiencia multidisciplinar radica en un conocimiento exhaustivo de la problemática de los sistemas kársticos en especial y de los ambientes hipógeos en general, así como de la metodología más apropiada para su estudio y de la puesta en práctica de dicha metodología en las especiales condiciones de humedad a saturación que se dan en la mayoría de las cavidades.

La precisión de los sistemas de medidas diseñados específicamente para cada cueva o ambiente estudiado, junto con la metodología de estudio multidisciplinar ha dado lugar a la obtención de resultados novedosos y de gran aplicabilidad para la conservación de los ambientes estudiados.

Las representaciones artísticas subterráneas se disponen sobre soportes rocosos y/o materiales de construcción emplazados fundamentalmente en cavidades kársticas, abrigos naturales y galerías y

tumbas excavadas en la roca. Su conservación precisa de estudios multidisciplinarios que contemplen individual e integradamente los numerosos factores que influyen en su conservación:

1. Estudio de las características mineralógicas, petrográficas, petrofísicas y geoquímicas de la roca soporte de las representaciones artísticas y análisis de las características estructurales que controlan la morfología de la cueva/abrigo/tumba.
2. Análisis de la hidrología de las cavidades y abrigos, y caracterización geoquímica de las aguas de infiltración/circulación.
3. Caracterización de las condiciones microambientales naturales mediante monitorización en continuo de: temperatura, humedad relativa, dióxido de carbono, grado de ventilación estacional (Radón), etc.
4. Evaluación de la influencia de los visitantes en los parámetros ambientales y geoquímicos.
5. Estudio del papel de los microorganismos sobre los soportes (rocas, morteros, estucos) de las representaciones artísticas y determinación del grado de bioreceptividad de dichos soportes.
6. Modelización físico-química integrada del sistema y establecimiento del estado de conservación en función de los procesos que afectan al soporte rocoso y a las mismas pinturas/grabados/materiales de construcción.

# Diagnóstico de procesos de biodeterioro por combinación de microscopía *in situ* y técnicas de biología molecular

Asunción de los Ríos, Beatriz Cámara Gallego, Jacek Wierzechos y Carmen Ascaso

*Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC, Serrano 115 duplicado, 28006 Madrid.*

Una vez que la piedra es extraída de la cantera, entra en contacto de forma inmediata con diferentes y variados agentes físicos, químicos y biológicos que comienzan a actuar sobre ella. La combinación de todos estos factores hace que la piedra monumental se convierta en el hábitat de distintos microorganismos (bacterias, algas, hongos y cianobacterias) y organismos (líquenes, musgos, etc.) los cuales inducen en ella un conjunto de procesos de alteración mecánica y química a los que se denomina biodeterioro. Por ello, si queremos conservar nuestro Patrimonio Cultural, es necesario investigar tanto sobre los microorganismos y organismos que colonizan la piedra monumental, como sobre los procesos de biodeterioro derivados de su presencia y actividad. Por otro lado, la investigación aplicada a los bienes culturales es importante no solo porque favorece su conservación y protección sino porque también puede suponer su puesta en valor.

La experiencia de nuestro grupo de investigación, nos lleva a decir que para el estudio del biodeterioro es imprescindible el uso de distintas técnicas de microscopía las cuales permiten el estudio de forma conjunta de los microorganismos y la piedra, tanto en su superficie (colonización epilítica) como en zonas internas de la piedra (colonización endolítica). Nosotros llevamos a cabo este tipo de estudios *in situ* del biodeterioro aplicando microscopía de barrido en modo de electrones retrodispersados (SEM-BSE), microscopía de barrido a bajas temperaturas (LTSEM), microscopía confocal (CSLM) y microscopía electrónica de transmisión (TEM). Con estas técnicas se puede estudiar el problema *in situ*, es decir, sin extraer los organismos del material pétreo. De esta manera, no se alteran los microhábitats, durante el proceso de estudio, lo que facilita la comprensión del papel desempeñado por los diferentes microorganismos, es decir, permite el estudio de los nichos ecológicos. Cada una de las técnicas aporta un tipo de información, las cuales en muchos casos son complementarias. Las imágenes de microscopía de barrido nos dan una idea directa y precisa de lo que está ocurriendo en cuanto a la alteración mineral producida por los microorganismos (SEM-BSE) y a la localización del agua (LTSEM). La microscopía confocal, nos permite estudiar la distribución espacial de los microorganismos en el sustrato y su estado de vitalidad y por último la microscopía electrónica de transmisión que nos posibilita estudiar la ultraestructura de los microorganismos en detalle y en ciertos casos, la estructura de los minerales alterados, transformados o neoformados.

Para determinar la biodiversidad existente en la piedra, y especialmente para la identificación precisa de los microorganismos implicados concretamente en los procesos de biodeterioro, en los últimos años se ha trabajado en el desarrollo de métodos diagnósticos en los cuales los análisis por microscopía *in situ* han sido combinados con estudios por biología molecular.

Los tratamientos encaminados a reducir o eliminar los procesos de biodeterioro deben ser diseñados según las propiedades concretas de los microorganismos implicados y las especiales características del monumento y su enclave. En esta línea, la integración de toda la información generada por microscopía *in situ* y estudios de biología molecular permite el diseño de estrategias apropiadas de tratamiento. La eficacia de los tratamientos elegidos puede a su vez ser estimada también mediante esta combinación de técnicas, lo que permitirá aplicar posteriormente en el monumento aquellos tratamientos más indicados para la inhibición o eliminación de la colonización microbiana, sin daño para la piedra, y bajo las condiciones ambientales propias del monumento.



# Microbiología y Patrimonio Cultural

Cesáreo Sáiz Jiménez y Juan Miguel González Grau

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

El grupo de investigación “Microbiología y Patrimonio Cultural” tiene una trayectoria de casi 30 años en el estudio de los procesos de biodegradación del patrimonio. El grupo forma parte de un equipo multidisciplinar donde intervienen geólogos, geoquímicos y microbiólogos, de distintos centros del CSIC, de cuya conjunción resulta un estudio global del deterioro del patrimonio. La investigación sobre microbiología radica en el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla.

Hasta hace muy poco, el biodeterioro se estudiaba mediante el aislamiento y cultivo de los microorganismos. Sin embargo, esta metodología introducía un importante sesgo en la investigación, ya que se ha descrito que solo un 1% de los microorganismos presentes en un ecosistema pueden ser cultivados, permaneciendo el resto desconocidos para la comunidad científica. Obviamente, esta fracción desconocida juega un papel mucho más importante en el biodeterioro que el 1% cultivable, que incluso pudiera representar organismos no implicados en los procesos de biodeterioro, sino esporas presentes en el aire y depositadas accidentalmente sobre los objetos a estudiar, sin ninguna connotación metabólica o fisiológica con el biodeterioro.

Entre las actividades del grupo el aspecto más innovador es la aplicación de técnicas moleculares para determinar la composición de las comunidades microbianas presentes en los procesos de biodeterioro. Muchas de estas técnicas han sido objeto de desarrollo y patente por el propio equipo investigador a fin de adaptarlas a las características especiales que supone trabajar con objetos y monumentos protegidos.

El grupo adopta en sus investigaciones un triple abordaje: por una parte se aíslan y cultivan microorganismos, lo que nos ha llevado a describir más de una docena de nuevas especies de bacterias, aisladas de cuevas con pinturas rupestres y catacumbas romanas y, en su caso, poder modelizar con ellas los procesos naturales en el laboratorio. Por otra, se determinan las especies que forman una comunidad microbiana mediante análisis del ADN y, finalmente, se determina la fracción de aquellos microorganismos que, estando presentes, a su vez están metabólicamente activos mediante el estudio de ARN. Ello permite cubrir el amplio espectro de una compleja comunidad microbiana e identificar no solo sus componentes presentes sino los activos (que producen el biodeterioro). La combinación de los tres abordajes y la caracterización de una especie mediante aislamiento, demostración de la presencia de su ADN y ARN en el objeto o monumento a estudiar nos lleva a determinar qué especies deben ser objeto de particular interés en la adopción de medidas de control.

El centrar las investigaciones en los microorganismos metabólicamente activos, que son los que producen el daño, supone una economía de tiempo y recursos importantes para catalogarlos como microorganismos diana.

El objetivo principal es la optimización de los procesos de conservación y restauración ya que, mediante la metodología empleada, se está en condiciones de evaluar la idoneidad y efectividad de los procesos de eliminación y limpieza de objetos de interés cultural y monumentos. En efecto, es posible determinar la comunidad microbiana existente en un objeto biodeteriorado, efectuar un seguimiento de los procesos de limpieza mediante la aplicación de biocidas, determinar el efecto de estos sobre la comunidad, su duración a corto, medio y largo plazo y alertar sobre nuevos procesos de recolonización y biodeterioro.

Actualmente, el grupo se encuentra investigando procesos de colonización de microorganismos en cuevas españolas (Altamira, Doña Trinidad) y francesas (Lascaux), abrigos con pinturas rupestres de Aragón, en las tumbas de la Necrópolis Romana de Carmona, y ha estudiado las cuevas de Tito Bustillo, Murciélagos, Santimamiñe, Gáldar en España, Grotta dei Cervi en Italia, los abrigos de

Andalucía, las catacumbas de San Calixto y Domitila en Roma, el deterioro de los mosaicos de Itálica, de la piedra de la ciudad de Baelo Claudia, Medina Azahara, de la catedral de Sevilla, los murales de Vázquez Díaz en Huelva, etc., así como un elevado número de monumentos europeos (capilla del castillo de Herberstein, en Austria, iglesia de Greene en Alemania, catedrales de Lund en Suecia, de Malinas y Tongeren en Bélgica), americanos (ruinas mayas de Palenque, iglesia de San Roque, Campeche, Méjico, Tikal, Guatemala), y asiáticos (Persépolis, Susa, Bishapour, etc.). En estos casos se investiga el origen del biodeterioro, se determinan los microorganismos implicados, los efectos del ataque y se elaboran recomendaciones y pautas conducentes a la conservación de los lugares estudiados.



## Posters



# Las pinturas murales medievales en la zona litoral de Eslovenia – Materiales y técnicas

Anabelle Križnar\*, Antonio Ruiz Conde\*\* y Pedro J. Sánchez-Soto\*\*

*\*Departamento de Historia del Arte, Facultad de Filosofía, Universidad de Ljubljana, Aškerceva 2, 1000 Ljubljana (Eslovenia)*

*\*\*Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, Centro Mixto CSIC –US, Américo Vespucio 49, 41092 Isla de la Cartuja (Sevilla)*

En la zona litoral de Eslovenia, paralela a la frontera noreste de Italia, abundan las iglesias medievales, la mayoría de ellas decoradas en su interior con grandes ciclos de pinturas murales. En esta parte del país se encontraron las diferentes corrientes estilísticas, por un lado de Italia y por otro del Centro de Europa, sobre todo de lo que hoy son Alemania, Austria y Chequia, y se entrelazaron con la expresión tradicional eslovena. Las pinturas conservadas en el dicho territorio se distinguen entre sí, por lo tanto, según su estilo. Con el presente estudio se quiso determinar, si el material pictórico y sobre todo las técnicas de ejecución de estas pinturas concuerdan con la proveniencia estilística. Es decir, si en las pinturas bajo la influencia italiana predomina la pintura *a fresco*, si en aquellas influidas por el arte centroeuropeo predomina la pintura a cal o si, más bien, se caracterizan por una combinación de diferentes técnicas pictóricas según la necesidad, lo que era más típico de la tradición doméstica.

Para este fin se eligieron varios ciclos pictóricos de diferentes localidades a lo largo del territorio esloveno, expresando tanto influencia italiana como norteeuropea, de las diferentes épocas del siglo XV. Las iglesias parroquiales de San Esteban en Zanigrad (1400-10) y del Nacimiento de María en Pomjan (1410-20) muestran influencias del arte veneto y paduano del siglo XIV tardío y de los comienzos del siglo XV. Las pinturas murales en la iglesia parroquial de los Santos Pedro y Pablo en Nozno (1. mitad del siglo XV) se han conservado sólo parcialmente. Los restos muestran influencia del arte de Furlania del Norte alrededor de 1400, así como las pinturas en la iglesia de San Brikcio en Volarje (2/4 o mitad del siglo XV). En una fecha más tardía se sitúan dos ciclos pictóricos en las iglesias parroquiales de la Asunción de María en Vremski Britof (1445-50) y en San Tomás en Famlje (1450-60). Las pinturas de Vremski Britof revelan una influencia de la pintura de Salzburgo de aquel tiempo, así mismo como de Carinthia y Istria. Famlje está vinculado a la producción artística de Venecia y sus alrededores del segundo cuarto del siglo XV.

Todas las pinturas se examinaron primero *in situ*; luego se extrajeron pequeñas muestras de morteros y de diferentes pigmentos. Las muestras en forma de polvo o de estratigrafías elaboradas previamente, se analizaron por diferentes técnicas instrumentales: microscopía óptica, espectroscopía IRTF, microscopía electrónica de barrido con análisis químico por energías dispersivas de rayos X y difracción de rayos X.

La composición de los morteros empleados en los primeros cuatro ciclos pictóricos es parecida. El intónaco es siempre rico en cal y bien pulido. En Zanigrad y Pomjan es de tono amarillento, lo que demuestra una presencia de arcillas o una arena poco limpia. Un mortero muy limpio se empleó en Nozno. Sólo en Volarje se ha empleado mortero de una calidad elevada, hecho de cal y calcita o mármol triturados. En casi todas las pinturas se encuentra presencia local de una mano de cal encima del mortero, empleada según se necesitaba. Las pinturas de Vremski Britof y Famlje se caracterizan por una mayor presencia de arena, que fue poco lavada. El intónaco tiene poca consistencia por la falta de la cal. En las dos localidades, muy cercanas una a la otra, se usó probablemente la arena encontrada en las alrededores. En ninguno de los dos ciclos se ha encontrado una mano de cal.

En comparación con otras pinturas eslovenas del norte o del interior, en estas sorprenden los colores vivos y cálidos, con la excepción de Zanigrad donde predominan tonos opacos y terrosos. Los resultados de los análisis demostraron que los pigmentos empleados son en la mayoría de los casos del origen de tierra: los ocre amarillos y rojos, tierra verde, sombra natural o tostada, además del blanco de cal. Malaquita se ha descubierto solo en Vremski Britof. Azurita no se identificó con los análisis realizados, pero se puede pensar en su existencia en las pinturas a base de algunas características del pigmento azul observadas *in situ*. En Zanigrad y en Vremski Britof se ha descubierto la presencia de un pigmento a base de Pb, probablemente blanco de Pb, añadido a otros pigmentos para aclararlos.

En las pinturas de Zanigrad y Pomjan los pintores combinaron las tres técnicas básicas de pintura mural, *a fresco*, *a secco* y a cal. Empezaron a pintar sobre mortero húmedo (dibujo preparatorio, imprimaciones, fondos, algunas caras), pero conforme el soporte se iba secando, le añadían capas de cal en zonas particulares, sobre todo en vestimentas. Los detalles terminaron *a secco*, añadiendo al pigmento algún aglutinante orgánico que no se ha podido identificar. La mejor calidad de la ejecución la encontramos en Volarje, donde se ha descubierto hasta sinopia en el mortero subyacente. Casi todo está pintado *a fresco*: por lo tanto, los colores todavía conservan su fuerza. Las capas pictóricas son muy finas, mientras que en Nozno son gruesas y la cal del mortero no ha penetrado suficientemente bien. En consecuencia, no se han conservado de la misma forma. Las partes, pintadas sobre el mortero ya seco, se han perdido casi todas. Las pinturas en Vremski Britof y Famlje combinan las técnicas *a fresco* y *a secco*. Las dos fueron comenzadas sobre mortero húmedo, lo que demuestran las incisiones profundas y los dibujos preparatorios bien conservados. En la primera iglesia las pinturas se finalizaron *a secco* y con capas gruesas que se están despegando de la pared. En Famlje, por otro lado, el mortero muy fino exigía que algunas de las figuras se ejecutaran enteras *a secco* y, por lo tanto, de aquéllas sólo se conservan incisiones y dibujos preparatorios. En cualquier caso, desde el punto de vista técnico, Famlje está más cerca de Vremski Britof que de otras pinturas del ambiente veneto.

Los resultados de los análisis de todas las pinturas elegidas demuestran que la influencia doméstica del territorio esloveno predomina en la ejecución técnica de las pinturas murales, ya que las pinturas más cercanas geográfica- y temporalmente se parecen más entre sí que las que comparten las mismas raíces estilísticas.

**Agradecimientos:** Se agradece al Proyecto bilateral de cooperación científica y tecnológica entre el Reino de España y la República de Eslovenia (2004-2006) y al Proyecto de investigación MAT2002-02549, mencionando que está cofinanciado en parte con Feder.

# Investigación interdisciplinar sobre estado de conservación de negativos fotográficos en la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de Sevilla

G. Durán\*, M. Arjonilla\*\*, A. Ruiz-Conde\* y P. J. Sánchez-Soto\*

*\*Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, Centro Mixto Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)-Universidad de Sevilla, c/Américo Vespucio 49, Isla de la Cartuja, 41092-Sevilla*

*\*\*Departamento de Pintura, Facultad de Bellas Artes, Universidad de Sevilla, Sevilla*

En la elaboración de este estudio se han utilizado muestras de negativos de placas fotográficas vítreas. Dichos soportes vítreos se encuentran depositados y conservados en los fondos de fotografía de la Facultad de Bellas Artes, procedentes en sus inicios del denominado “Laboratorio de Arte” de la Universidad de Sevilla, tal y como se indica en las anotaciones realizadas en los sobres de almacenamiento. A partir de estos datos se puede conocer el autor, la fecha de exposición, etc. En todos los casos se ajustaban a reproducciones de obras pictóricas pertenecientes al Museo de Bellas Artes de Sevilla, en cuya descripción se clarificaba el nombre de la obra original, sus medidas y el autor. En todos los casos los sobres envolventes se caracterizaban por ser de papel marrón de estraza, con restos de adhesivo más o menos envejecido. Los vidrios estudiados hacen de soporte de un negativo fotográfico industrial de 18x24 cm con emulsión de gelatina-haluros reencuadrado mediante papel encolado entintado para localizar el punto de interés en el positivo.

Se han seleccionado dos placas representativas de conjunto que tenían algún tipo de rotura, lo que en mayor o menor medida, permitía la selección de muestras para su análisis extraídas por su fecha de exposición, ya que así se facilitaba el estudio las diferencias entre ambas y a partir de esto, establecer algún tipo de diferencia. Su descripción es la siguiente:

- J.M. Nandín, de 1925 con formato 180x240x19 mm. Su estado de conservación es aceptable.
- Moreno, de 1950 con formato 180x240x14 mm. En buen estado de conservación.

La importancia de la investigación interdisciplinar llevada a cabo sobre dichos soportes vítreos estriba en la variación de las fechas y de la autoría de los mismos, con diferencias aparentes entre cada uno, mostrando características distintas en la tipología del material seleccionado. El primer paso ha sido una caracterización de micromuestras seleccionadas de estos soportes vítreos mediante diversas técnicas, principalmente fotografía digital, microscopía óptica (MO) y electrónica de barrido (MEB), así como análisis químico por energías dispersivas de rayos X (EDX), difracción de rayos X (DRX) por el método del polvo cristalino y análisis químico superficial por espectroscopía de fotoelectrones (XPS).

La aplicación de la microscopía óptica y electrónica de barrido ha permitido determinar, además de la morfología y microestructura de las muestras, el espesor de la capa de emulsión sobre el soporte vítreo y su uniformidad. Un resultado de interés ha sido demostrar, a partir de los resultados de análisis químico superficial, que el azufre que se detecta en las muestras estudiadas está bajo forma de sulfuro y que la plata puede ser atribuida tanto a especie metálica como a combinada bajo la forma de sulfuro.

A partir del conjunto de resultados obtenidos, se pretende conocer el estado físico-químico de los distintos acervos, comprobar el estado de conservación de dichos materiales y su influencia en la integridad de la composición con vistas a su preservación.

**Agradecimientos:** Se agradece el apoyo económico recibido al Proyecto de investigación de referencia MAT2002-02549, cofinanciado en parte con Feder, que ha facilitado el inicio de esta investigación, así como al grupo de investigación y desarrollo tecnológico de la Junta de Andalucía TEP 204.

# Evaluación por técnicas electroquímicas de recubrimientos innovadores para la protección del patrimonio histórico metálico

E. Cano\*, D.M. Bastidas\*, V. Argyropoulos\*\* y A. Siatou\*\*

\* Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM)-CSIC, Avda. Gregorio del Amo 8, 28040 Madrid

\*\* Department of Conservation of Antiquities & Works of Art, T.E.I. of Athens, Ag. Spyridonos, 12210 Aigaleo, Grecia

Las técnicas electroquímicas son conocidas en el campo de la restauración y conservación del Patrimonio Cultural fundamentalmente como una herramienta para realizar tratamientos de reducción de productos de corrosión o para la eliminación de cloruros. Aunque estas técnicas se vienen utilizando de manera muy extendida para la evaluación de recubrimientos protectores frente a la corrosión para aplicaciones industriales, su aplicación para la evaluación de recubrimientos sobre metales históricos es hasta ahora muy limitada.

Tradicionalmente, los recubrimientos más utilizados en la conservación y restauración del patrimonio cultural metálico son el *Paraloid B-72* (copolímero acrílico) y mezclas de ceras microcristalinas como la cera *Renaissance*. Estos recubrimientos, sin embargo, tienen en muchos casos una baja eficacia para prevenir el avance de la corrosión en atmósferas no controladas.

Dentro del trabajo realizado en el proyecto PROMET (*Innovative conservation approaches for monitoring and protecting ancient and historic metals collections from the Mediterranean basin*) del 6º PM de la UE se ha realizado una selección de diversos productos como alternativas a los recubrimientos tradicionales. Estos recubrimientos han de cumplir los requisitos de buena eficacia como recubrimiento protector frente a la corrosión, aspecto adecuado (sin producir cambios de color o brillo importantes), seguridad para las personas y el medio ambiente y reversibilidad.

El presente trabajo muestra los resultados obtenidos con distintos recubrimientos sobre probetas de acero que simulan la composición y estado superficial de metales históricos. Los recubrimientos estudiados han sido una cera de polietileno (*Poligen ES 91009*), comercial y con la adición de inhibidores de corrosión; *Paraloid B-72*, comercial y con inhibidores de corrosión; y cera *Renaissance*. Se ha desarrollado un protocolo de evaluación de los recubrimientos adaptado a las especiales características de los metales históricos. La evaluación de los recubrimientos se ha realizado por medio de técnicas electroquímicas: resistencia de polarización ( $R_p$ ) y espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS). Se han utilizado dos electrolitos distintos: 0,1M NaCl y 0,35%  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  + 0,05 % NaCl.

Los resultados obtenidos han mostrado que el *Poligen ES 91009* resulta una alternativa al tradicional *Paraloid*, obteniéndose una protección del metal mayor que con la resina acrílica, un mejor aspecto superficial y una reversibilidad adecuada. Ninguno de los aditivos inhibidores de corrosión estudiados ha mejorado de manera clara el comportamiento del recubrimiento, produciéndose en algunos casos el efecto inverso. La cera *Renaissance* por si sola no produce ninguna protección significativa del metal.

Las técnicas electroquímicas han permitido evaluar cuantitativamente el comportamiento de los distintos recubrimientos aplicados sobre probetas que simulan metales históricos.





# El puente de Salinetes (Novelda, Alicante) y su alteración por cristalización de sales

J. Martínez-Martínez, <sup>\*,\*\*</sup> A. Bernabéu, <sup>\*,\*\*</sup> D. Benavente, <sup>\*,\*\*</sup> J.A. López Davó, <sup>\*\*\*</sup> y M.A. García del Cura <sup>\*,\*\*\*\*</sup>

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

<sup>\*\*</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Universidad de Alicante. Apartado 99. 03080 Alicante

<sup>\*\*\*</sup> Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universidad de Alicante. Apartado 99. 03080 Alicante

<sup>\*\*\*\*</sup> Instituto de Geología Económica. CSIC-UCM. Facultad de Geología. Ciudad Universitaria. 28040 Madrid

## Introducción

El Puente de Salinetes, en las proximidades de Novelda (Alicante), fue construido en el siglo XIX para salvar el barranco de Salinetes que separa el camino de Castilla y el complejo del balneario de Salinetes (también del s.XIX). El balneario de Salinetes se construyó en 1858 con el objetivo de ofrecer un uso público del agua salada que surgía en el barranco de Salinetes (Alberola Belda, 1991). Este balneario contaba entre sus instalaciones con un pabellón de baños, un hotel con 30 lujosas habitaciones, dos restaurantes y diferentes salas de ocio, una casa de alojamiento más modesta y una pequeña ermita. Dos causas motivaron básicamente el cierre del establecimiento: a) el bajo caudal del manantial de agua minero-medicinal (553,2 l/h), lo que dificultaba un mayor aprovechamiento de la instalaciones; y b) el elevado coste del lujoso complejo. Durante la década de 1940, tras la Guerra Civil, los edificios fueron desmantelados con el fin de reaprovechar sus materiales (vigas, puertas, ventanas, etc). Actualmente, solo unos pocos restos quedan del pabellón de baños, de la casa de alojamiento más humilde y de la ermita, mientras que el puente que proporcionaba el acceso (Figura 1A) se encuentra en muy mal estado y actualmente sólo se emplea para acceder a unas pocas casas de campo.

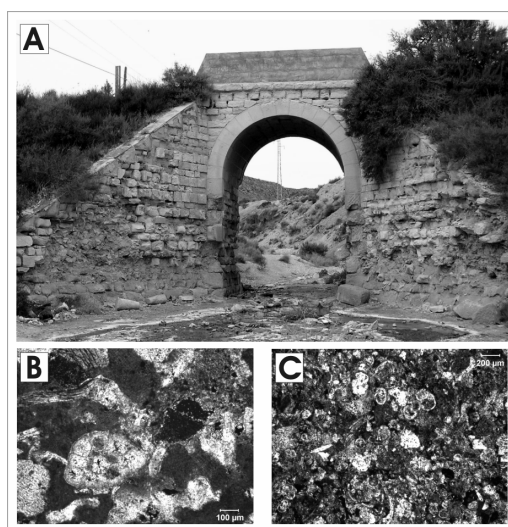


Figura 1. A: vista general del puente; B: fotomicrografías (MOP) de LS (sillares claros: biomicrita); C: fotomicrografías (MOP) de BS (sillares azulados: biocalcarenitite).

## Características constructivas y materiales empleados

El puente se localiza sobre un arroyo salado, en afloramientos del Triás de facies Keuper. En la fábrica se distinguen dos niveles: un nivel interior de mampostería y un nivel exterior de sillaría. Se distinguen mayoritariamente dos tipos de rocas diferentes en los sillares: LS: una biomicrita de color claro, con foraminíferos, fragmentos de algas rojas y algunos filosilicatos, principalmente glauconita (Figura 1B). BS: una biocalcarenita de color azulado, formada básicamente por globigerínidos y otros foraminíferos, así como fragmentos de moluscos y briozoos (Figura 1C). Alrededor del 80% del puente está construido con este material.

## Metodología

El estudio del estado de conservación del puente de Salinetes se realizó mediante la toma de muestras de material pétreo y mortero a diferentes alturas y con diferentes grados de alteración y su posterior caracterización en laboratorio (estudio petrográfico y petrofísico). También se llevó a cabo una exhaustiva caracterización del entorno salino mediante la toma de muestras y posterior análisis de eflorescencias, costras y agua del arroyo salado de Salinetes, así como la simulación teórica del proceso de evaporación mediante el código geoquímico PHRQPITZ. La caracterización se completó mediante la elaboración de diferentes cartografías de los estribos mostrando la pérdida de material en los sillares y la resistencia mecánica de los mismos (mediante martillo de Schmidt). La obtención de imágenes termográficas de la obra permitió estudiar la distribución de la humedad en los sillares de forma rápida y no destructiva.

## Resultados

La figura 2A muestra la distribución de pérdida de material en uno de los estribos del puente, y se distinguen dos zonas: A) una localizada entre 1,5 y 2,5 m, con una fuerte pérdida de material (alrededor del 75% de los sillares presenta una pérdida de material superior al 60%). B) otra ubicada entre 2,5 y 3,2 m. En esta zona cabe destacar que los sillares de BS corresponden al 95% de los sillares con una pérdida de volumen superior al 60%. Este hecho manifiesta la mayor susceptibilidad de este material a la alteración por cristalización de sales.

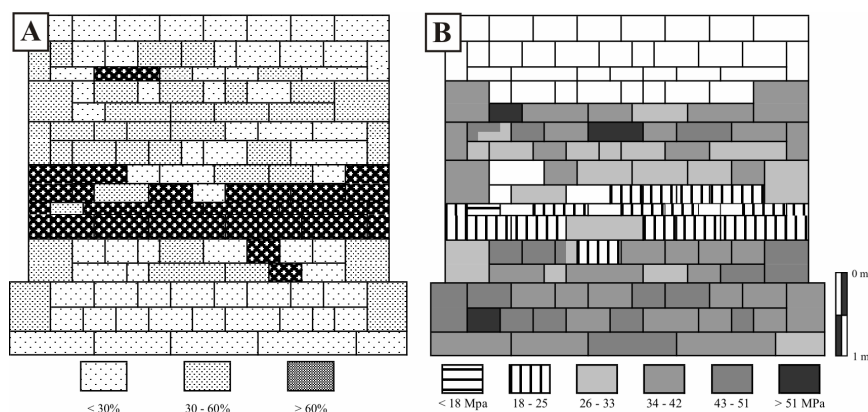


Figura 2. A: Cartografía de la pérdida de material de los sillares; B: Cartografía de la resistencia mecánica de los sillares.

El coeficiente de absorción capilar muestra que BS posee valores ligeramente mayores a LS ( $C_{BS} = 0,86 \pm 0,01 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0.5}$ ;  $C_{LS} = 0,70 \pm 0,31 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0.5}$ ). Sin embargo, valores muy superiores han sido registrados en las muestras de mortero ( $C_{\text{mortar}} = 4,80 \pm 0,57 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0.5}$ ). Esto nos permite diferenciar entre dos movimientos de la disolución salina en los estribos. Por una parte, la ascensión capilar a través de los sillares, justifica la elevada pérdida de material en la zona más baja (1,5-2,5 m). Esta área constituye la zona capilar donde la sucesiva evaporación/saturación provoca agresivos procesos de cristalización de sales (Goudie, 1986). Por debajo de 1,5 m, los sillares se encuentran saturados la mayor parte del tiempo (visible mediante termografía), por lo que no están sometidos a haloclastia. Por otra parte, los procesos de alteración producidos entre 2,5 y 3,2 m pueden ser explicados ya que la disolución asciende hasta una cota muy superior a través del mortero empleado en la mampostería y entre sillares,

migrando posteriormente hasta la superficie de los sillares, hasta aparecer en forma de eflorescencias y subeflorescencias. La temperatura del mortero mostrada en las imágenes de termografía corroboran su elevada humedad incluso en cotas altas.

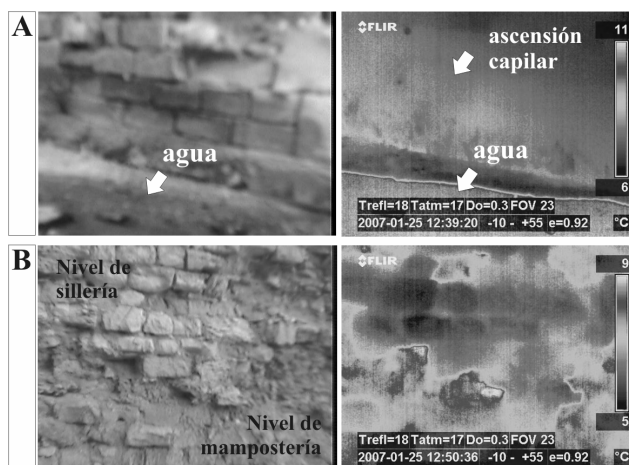


Figura 3. A: imagen real y su termografía correspondiente, donde se aprecia la ascensión capilar de la humedad por los sillares; B: imagen real y termográfica donde se aprecia la temperatura del nivel de sillaría y del nivel de mampostería. La diferencia se debe a la elevada humedad del segundo nivel.

En la figura 2B se muestra la distribución de la resistencia mecánica en el estribo izquierdo. BS presenta el rango más bajo (29-31 MPa) y se registra un fuerte descenso en su resistencia mecánica en los sillares más alterados (alrededor de un 25% menos). Por otra parte, LS muestra valores medios de 32MPa y un descenso del 15% de este valor en los sillares más alterados. La mayor alteración observada en BS responde a las características de su sistema poroso ( $P_{LS}=2,1\%$ ;  $P_{BS-inalterado}=13,1\%$ ,  $P_{BS-alterado}=16,5\%$ ), que la hace menos resistente frente a la cristalización de las sales registradas en el entorno (halita, yeso, silvita y thenardita) (Martínez-Martínez et al., 2007).

## Conclusión

El lamentable estado de conservación del puente de Salinetes, está provocado por el agresivo efecto de la cristalización de las sales del arroyo de Salinetes. De los estudios realizados se deduce que los materiales empleados para su construcción no son los más idóneos dada su elevada porosidad y su baja resistencia mecánica (en especial la variedad BS: una biocalcarenita de coloración azulada), y además, el mortero empleado en el nivel interno de mampostería y en el agarre de los sillares tampoco ofrece unas características óptimas, ya que su elevado coeficiente de absorción capilar señala un mayor y más rápido acceso del agua salada a la obra. Ambos hechos han provocado importantes pérdidas de material y una disminución notable de la sección de los estribos en el puente, lo cual hace necesaria una pronta intervención para aumentar su estabilidad.

**Agradecimientos:** J. Martínez-Martínez ha contado con una beca de formación de doctores en Unidades Asociadas Universidades - CSIC.

## Referencias

- Alberola Belda, M.E. 1991. Salinetas de Novelda: Historia de un balneario. *Cuadernos de la Mola* 5: 21-42.
- Martínez-Martínez, J., Bernabéu, A., Benavente, D., y García del Cura, M.A. 2007. Stone decay in civil heritage constructions due to salt crystallisation: Salinetes Bridge (Alicante, SE Spain). *Libro de abstracts: 7th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*. 6-9 de Junio, Orleans, Francia.
- Goudie, A.S. 1986. Laboratory simulation of 'the wick effect' in salt weathering of rock. *Earth Surface Processes and Landforms* 11: 275-285.



# Estudio de microorganismos implicados en procesos de deterioro de pinturas rupestres en abrigos de Aragón

M.C. Portillo\*, J. M. González\*, R. Alloza\*\* y C. Sáiz-Jiménez\*

*\*Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología, CSIC, Apartado 1052, 41080 Sevilla*

*\*\*Escuela de Restauración de Aragón, Cuarte de Huerva, Zaragoza*

La Comunidad Autónoma de Aragón posee una gran riqueza en pinturas rupestres distribuidas por todo su territorio. Estas representaciones pertenecen a un amplio período cronológico que va desde el Paleolítico Superior hasta los últimos tiempos prehistóricos. En la actualidad se están llevando a cabo iniciativas encaminadas a analizar los problemas que afectan a la conservación de estas pinturas y los abrigos naturales donde se encuentran situadas. Este trabajo se enmarca dentro de este esfuerzo por preservar estos enclaves y, especialmente, se enfoca al estudio concreto de un problema que afecta a estas pinturas: la colonización por microorganismos.

Los microorganismos pueden colonizar prácticamente cualquier hábitat de nuestro planeta y las rocas que forman los abrigos naturales con pinturas rupestres no son una excepción. Un estudio detallado de los abrigos reveló una diversidad de situaciones, desde la presencia, en algunos puntos, de un crecimiento incipiente hasta un estado avanzado de colonización por comunidades microbianas fotosintéticas.

Este trabajo se llevó a cabo en el abrigo con pinturas rupestres denominado Muriecho L, localizado en Colungo, provincia de Huesca, en el que se encuentran cuatro paneles pictóricos con representaciones humanas y de animales encuadrables en el estilo Levantino. Se detectaron dos tipos de biodeterioro. En uno de ellos, se observa una progresiva colonización por comunidades microbianas criptoendolíticas, que se desarrollan bajo la superficie de la roca, lo que puede dar lugar a la formación de fracturas y el consiguiente desplazamiento de la roca y pinturas. El segundo tipo detectado es el crecimiento de comunidades microbianas en zonas de escorrentía de agua de lluvia, que cubre una zona del abrigo y podría llegar a alcanzar a las pinturas. Ambos tipos de biodeterioro se caracterizan por el desarrollo de microorganismos fotosintéticos.

Para analizar las comunidades microbianas se utilizaron métodos moleculares basados tanto en el análisis del ADN como del ARN. Los métodos empleados han sido descritos en publicaciones previas (Gonzalez et al. 2003; Gonzalez y Saiz-Jimenez, 2004; Gonzalez et al. 2006). Siguiendo esa metodología se pudieron detectar los microorganismos presentes (basándose en el ADN) y los que presentaban actividad metabólica (ARN). Este trabajo se centra en los microorganismos que presentaron actividad metabólica, lo que implica que en el momento del muestreo participaban directamente en el fenómeno analizado y contribuían activamente a los procesos biogeoquímicos de la roca que constituye el abrigo Muriecho L.

El análisis de la comunidad microbiana criptoendolítica permitió detectar que los principales microorganismos fotosintéticos, metabólicamente activos, eran cianobacterias (fundamentalmente de los géneros *Chroococcidiopsis*, *Cylindrospermum*, y *Phormidium*) aunque también se detectó una incipiente colonización por briofitas (musgos). Asociados a esta comunidad fototrófica se encontraron bacterias entre las que destacaban representantes de los grupos Bacteroidetes, división candidata WYO y, en menor medida, actinobacterias.

El agua de escorrentía facilitó el crecimiento de una comunidad microbiana también basada en el desarrollo de microorganismos fotosintéticos. En este punto, los microorganismos detectados con actividad metabólica fueron cianobacterias, representadas por los géneros *Nostoc*, *Anabaena* y *Microcoleus*. También se evidenció la presencia de bacterias fotosintéticas pertenecientes al grupo Chloroflexi lo que, junto a su elevada proporción en la comunidad, permitió resaltar la importancia de estas bacterias en el proceso de biodeterioro. Asociados a los microorganismos fotótrofos se detectaron bacterias pertenecientes a los grupos Alfa-Proteobacteria y Actinobacteria.

Estos resultados confirman la presencia de comunidades complejas en los dos puntos analizados y subrayan la importancia que los microorganismos fotosintéticos tienen en procesos de biodeterioro de abrigos con pinturas rupestres de Aragón. Este tipo de estudios permite conocer la composición de las comunidades microbianas que afectan a la conservación de las pinturas rupestres localizadas en abrigos naturales. Ello, junto con un análisis de las características ambientales y geológicas de este abrigo contribuirá a diseñar estrategias de conservación adecuadas.

### Referencias

- Gonzalez, J.M., A. Ortiz-Martinez, M.A. Gonzalez-delValle, L. Laiz y Saiz-Jimenez, C. 2003. An efficient strategy for screening large cloned libraries of amplified 16S rDNA sequences from complex environmental communities. *J. Microbiol. Methods* 55, 459-463.
- Gonzalez, J.M. y Saiz-Jimenez, C. 2004. Microbial diversity in biodeteriorated monuments as studied by denaturing gradient gel electrophoresis. *J. Separ. Sci.* 27, 174-180.
- Gonzalez, J.M., M.C. Portillo y Saiz-Jimenez, C. 2006. Metabolically active Crenarchaeota in Altamira Cave. *Naturwissenschaften* 93, 42-45.

# Análisis de la diversidad de hongos en la Cueva de Doña Trinidad (Ardales, Málaga)

F. Stomeo\* , G. Ellersdorfer\*\*, K. Sterflinger\*\*, J.M. Gonzalez\* y C. Saiz-Jimenez\*

\* *Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología, CSIC, Apartado 1052, 41080 Sevilla*

\*\* *Universidad de Ciencias Agrarias, ABR, Muthgasse 18, A-1190 Viena, Austria*

La Cueva de Doña Trinidad (Ardales, Málaga) fue descubierta en 1821 tras un gran terremoto. Tiene una edad geológica de dos millones y medio de años y una altitud sobre el nivel del mar de 550-560 m. En 1860 la señora Trinidad Grund compró la cueva e inició su explotación turística. En el interior de la cueva se encuentran laberintos de columnas, formaciones de estalactitas y estalagmitas, lagos permanentes y sobre todo pinturas rupestres y grabados del Paleolítico Superior. El primer gran estudioso de la cueva fue Henry Breuil, quien en 1921 describió sus pinturas y grabados.

Estudios recientes sobre cuevas con pinturas rupestres situadas en diferentes países europeos indican que la colonización biológica es un problema común que afecta a la conservación de las pinturas (Holden 2002, Allemand y Bahn 2005). Los microorganismos pueden colonizar la superficie de la roca, causando la desintegración total o parcial del sustrato y contribuyendo a los procesos de deterioro. Por tanto, conviene estudiar en detalle los tipos de microorganismos presentes en esos enclaves y analizar su desarrollo para así poder establecer estrategias de conservación. En la mayoría de los casos, una vez que una cueva ha sido descubierta y abierta al público, comienza a recibir una elevada afluencia de visitantes lo que altera el equilibrio existente en su interior y facilita el desarrollo tanto de aquellos microorganismos presentes en la cueva como de nuevos microorganismos que puedan haber sido introducidos en la cueva por los visitantes (Hoyos et al. 1998).

Los microorganismos se encuentran ampliamente difundidos en las cuevas y, en los últimos años, se han publicado varios estudios sobre la presencia de distintos grupos de bacterias en las cuevas de Altamira, Tito Bustillo, La Garma, etc. (Schabereiter-Gurtner et al. 2002a, b, 2004, Gonzalez et al. 2006). Sin embargo, existe una escasa información sobre la presencia de hongos que, al ser también colonizadores comunes de ambientes subterráneos y cumplir con importantes funciones ecológicas, requieren de un mayor estudio, puesto que el actual conocimiento de la diversidad de los hongos en cuevas resulta bastante limitado. Recientemente, se ha publicado que los hongos también pueden jugar un papel fundamental en la colonización de cuevas con pinturas paleolíticas, como en el caso de la Cueva de Lascaux en Francia (Alabouvette 2006).

En el presente estudio se analiza la diversidad de hongos en muestras de suelo, de excrementos de animales y aire de la Cueva de Doña Trinidad, a través de las tradicionales técnicas de cultivo y a partir de análisis molecular por electroforesis en gel de gradiente desnaturante (DGGE) de fragmentos de la subunidad ribosómica del gen rRNA 18S (Muyzer et al. 1993, Gonzalez y Saiz-Jimenez 2004).

Los cultivos fúngicos han sido caracterizados a nivel morfológico e identificados por secuenciación de fragmentos de la subunidad ribosómica 18S y regiones ITS1 y ITS2. Entre los hongos aislados, los más abundantes han sido miembros de *Fusarium*, *Arthroderma*, *Aphanoascus*, *Aspergillus* y *Penicillium*. Además de estos ascomicetos, el género *Trichosporon* ha sido la única levadura detectada durante este estudio.

En estudios moleculares precedentes, a partir del análisis del ADN, se comprobó que el género *Fusarium* representaba el componente más abundante de la comunidad total de una muestra recogida de un pigmento rojo en una pared de la cueva. Las investigaciones futuras se enfocarán hacia el estudio de este hongo mediante de ensayos de colonización en el laboratorio para analizar las pautas de colonización de espeleotemas y su metabolismo.

**Agradecimientos:** Este trabajo ha sido llevado a cabo mediante convenio con la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía. F. Stomeo agradece al programa Marie Curie, proyecto MEST-CT2004-513915, su financiación.

## Referencias

- Alabouvette, C. 2006. *Fusarium solani*: notre cher ennemi. *Monumental* 2: 81.
- Allemand, L. y Bahn, P.G. 2005. Best way to protect rock art is to leave it alone. *Nature* 433: 800.
- Breuil, H. 1921. Nouvelles cavernes ornées paleolithiques dans la province de Málaga. *L'Anthropologie* XXXI: 239-253.
- Holden, C. 2002. Cave paintings in jeopardy. *Science* 297: 47.
- Hoyos, M., Soler, V., Cañaveras, J.C., Sánchez-Moral, S. y Sanz-Rubio, E. 1998. Microclimatic characterization of a karstic cave: human impact on microenvironmental parameters of a prehistoric rock art cave (Candamo Cave, northern Spain). *Environmental Geology* 33: 231-242.
- Gonzalez, J.M. y Saiz-Jimenez, C. 2004. Microbial diversity in biodeteriorated monuments as studied by denaturing gradient gel electrophoresis. *Journal of Separation Science* 27: 174-180.
- Muyzer, G., de Waal E.C. y Uitterlinden, A.G. 1993. Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16S rRNA. *Appl. Environ. Microbiol.* 59: 695-700.
- Schabereiter-Gurtner, C., Saiz-Jimenez, C., Piñar, G., Lubitz, W. y Rölleke, S. 2002 a. Altamira cave paleolithic paintings harbour partly unknown bacterial communities. *FEMS Microbiol. Lett.* 211: 7-11.
- Schabereiter-Gurtner, C., Saiz-Jimenez, C., Piñar, G., Lubitz, W. y Rölleke, S. 2002 b. Phylogenetic 16S rRNA analysis reveals the presence of complex and partly unknown bacterial communities in Tito Bustillo cave, Spain, and on its Paleolithic paintings. *Environ. Microbiol.* 4: 392-400.



## ¿Contienen las cerámicas de “*terra sigilata*” un marcador microestructural?

J. M<sup>a</sup>. Rincón

*Grupo/Lab de Materiales Vítreos y Cerámicos, Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, CSIC, Madrid*

Muestras representativas de materiales cerámicos antiguos de “*terra sigilata*” (TS) de la Península Ibérica, así como otras procedentes de yacimientos europeos como los de La Graufesenque (Francia), contienen generalmente la fase mineral feldespática- sanidina que se forma por reacción a elevadas temperaturas entre los feldespatos: ortoclasa y plagioclasa (albita). Se ha comprobado que esta característica microestructural es una constante en todas las cerámicas de TS investigadas por este autor desde hace años, así como en otras cerámicas del mismo tipo especialmente las enriquecidas en óxido de calcio y relacionadas en la bibliografía (Jornet 1980). Por tanto, se plantea la hipótesis de que la formación de sanidina en estos materiales antiguos pueda ser considerada como un “marcador” ó “sello específico” de las temperaturas a las que tuvo lugar la producción de cerámicas de TS, lo cual facilitaría la identificación y clasificación de fragmentos en los que no aparece el sello característico de la TS y que a veces son difíciles de clasificar. Se discuten asimismo, consideraciones sobre la posible formación y microestructura de una sanidina rica en calcio con otras fases minerales neoformadas en la cocción de productos cerámicos que tanta importancia comercial adquirieron en su tiempo (Figura 1).



Figura 1. Diversos formatos de piezas de cerámica de “*terra sigilata*” (foto del propio autor, piezas del Museo de Arte Romano de Mérida).

Se muestra como ejemplo los diagramas de DRX de polvo de fragmentos catalogados como de “*terra sigilata*” en los que puede apreciarse la presencia de la fase feldespática mixta Sanidina de cerca de cincuenta muestras analizadas (varias de los talleres riojanos y de Mérida) en comparación con otros yacimientos como los de Pino Montano y El Regadío (Teruel) que no muestran la formación de dicha fase mineral y que se alejan en los diagramas de correlación de composición (muestras procedentes de investigaciones de J.M. Blázquez et al. [1985]). Se discute la formación de sanidina respecto a la cúpula de inmiscibilidad de los feldespatos y el proceso por el que pudieron ser obtenidas este tipo de productos cerámicos tan característicos de la época final del Imperio Romano.

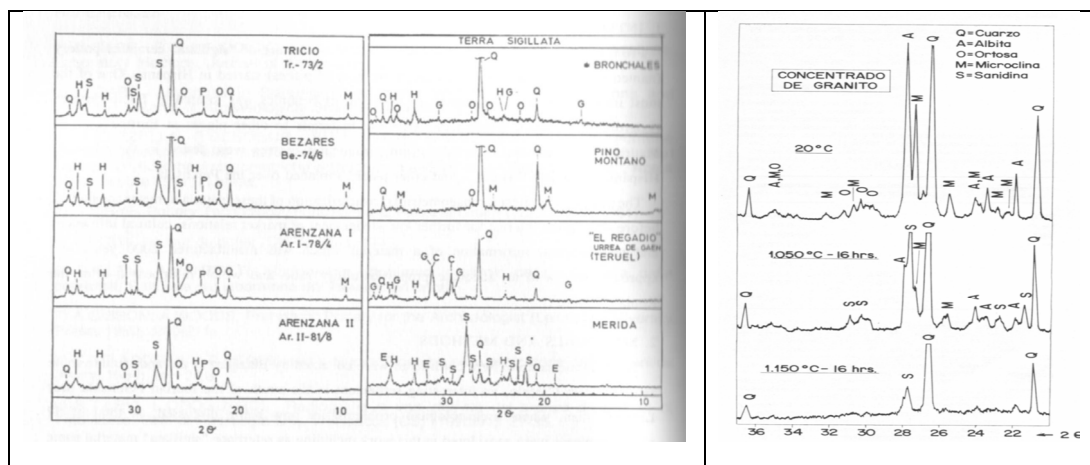


Figura 2. Difractogramas de rayos X de materiales cerámicos de “terra sigillata” de diversos yacimientos de la Península Ibérica (Rincón y Romero 1995) y diagramas de evolución térmica de una muestra de concentrado de granito (García-Verduch et al. 1975).

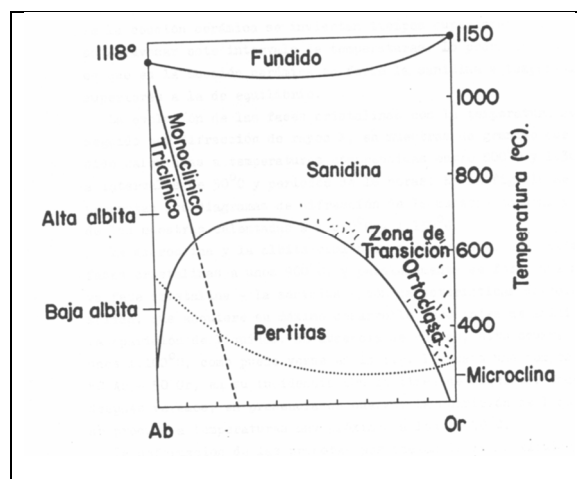


Figura 3. Cúpula de inmiscibilidad metaestable de los feldespatos perfiticos en relación con el área de formación de la Sanidina (García-Verduch et al. 1975).

## Referencias

- Blázquez, J.M., García-Gelavert, M.P. y López Pard F. 1985. *Castulo* V. Madrid: Ministerio de Cultura [Serie Excavaciones Arqueológicas en España].
- García-Verduch, A., Requena, J. y Moya, S. 1975. Estudio del comportamiento térmico del granito. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* 14: 245-255.
- Jornet, A. 1980. Composition de la céramique romaine d'Augusta Raurica (Augst). *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen* 60: 271-285.
- Rincón, J.M. y Romero, M. 1995. Archaeometric characterization of “terra sigillata” ceramics from Spain. En P. Vincenzini (ed.) *The Ceramics Cultural Heritage*: 325-330. Faenza: Techna Srl.

## Deterioro asociado a películas microbianas en la iglesia de San Roque, Campeche, México

V. Jurado\*, D. Benavente\*\*, S. Cuezva\*\*\*, J. Reyes\*\*\*\*, J.C. Cañaveras\*\*, S. Sanchez-Moral\*\*\*, J.M. Gonzalez\* y C. Saiz-Jimenez\*

\*Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología, CSIC, Sevilla, Spain

\*\*Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante, Alicante, Spain

\*\*\*Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid, Spain

\*\*\*\*Programa de Corrosión del Golfo de México, Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, Mexico

La Iglesia de San Roque está localizada en el centro histórico de la ciudad de Campeche formando parte de un gran complejo histórico arquitectónico de los siglos XVI al XIX, reconocido como Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO en el año 1999. La Iglesia de San Roque fue construida a finales del siglo XVII sobre un subsuelo rocoso. Los cimientos, muros y columnas fueron construidos a base de mampostería y piedra caliza de la región. Para las uniones se empleó un mortero de cal y *sahcab* (material arcilloso de origen calcáreo). Los techos fueron construidos con mampostería de piedra caliza, conocida en la región como sistema *bahpek*. Actualmente la iglesia presenta procesos de biodeterioro.

En el año 2005 se realizó un muestreo exhaustivo para investigar los procesos de deterioro y el origen de las manchas negras y marrones que cubren las fachadas principal y lateral de la iglesia. Para ello se realizó un estudio mineralógico, petrográfico, petrofísico y microbiológico de las muestras.

Nuestros resultados mostraron la presencia de bacterias y cianobacterias en las biopelículas que cubren las paredes de ambas fachadas. Las comunidades microbianas estaban constituidas por los filos *Actinobacteria*, *Firmicutes*, *Proteobacteria* y *Cyanobacteria*. Los grupos más abundantes lo constituían las actinobacterias y cianobacterias. El grupo de *Actinobacteria* estaba representado por el género *Rubrobacter* relacionado con los procesos de biodeterioro (Schabereiter-Gurtner et al. 2001, Ortega-Morales 2006, Imperi et al. 2007). Asimismo, dentro del grupo de *Cyanobacteria* destacaba la presencia del orden *Nostocales* muy relacionado con la formación de biofilms en monumentos (Bonazza et al. 2007).

Los análisis mineralógico, petrográfico y petrofísico confirman que los morteros estaban formados por una matriz de carbonato cálcico con una razón ligante/agregado desde 1:4 a 1:1. El ligante es texturalmente semejante a rocas carbonáticas micríticas, compuestas de cristales de calcita de 1 a 10  $\mu\text{m}$  aunque se han observado localmente cristales aciculares de aragonito. El agregado está compuesto por fragmentos de conchas de moluscos y granos de biomicro. En algunas muestras se observa una densa red de poros cilíndricos, alargados, orientados perpendicularmente a la superficie cuyo origen pudiera estar relacionado con la actividad biológica. Esta red se extiende desde la superficie hasta 5 ó 6 mm de profundidad.

Este estudio demuestra que las películas microbianas constituidas principalmente por actinobacterias y cianobacterias son los principales colonizadores en la Iglesia de San Roque, favorecidos por un clima tropical húmedo. La actividad de estos microorganismos provoca procesos de deterioro. El estudio multidisciplinar es importante porque permite conocer la composición de las películas microbianas que se desarrollan sobre los monumentos y los efectos que estos microorganismos tienen sobre los materiales de monumentos para así elaborar las estrategias más efectivas de prevención y conservación.

**Agradecimientos:** Este trabajo se ha llevado a cabo en el marco del proyecto FOMIX CONACYT-Gobierno del Estado de Campeche: "Influencia del entorno urbano en los procesos de degradación de edificios militares y religiosos de la época colonial en la ciudad de Campeche", clave: CAMP2005-C01-028.

### Referencias

- Bonazza, A., Sabbioni, C., Ghedini, N., Hermosin, B., Jurado, V., Gonzalez, J.M, y Saiz-Jimenez, C. 2007. Did smoke from the Kuwait oil well fires affect Iranian archaeological heritage? *Environ. Sci. Technol.* 41: 2378-2396.
- Imperi, F., Caneva, G., Cancellieri, L., Ricci, M.A., Sodo, A. y Visca, P. 2007. The bacterial aetiology of rosy discoloration of ancient wall paintings. *Environ. Microbiol.* 9: 2894-2902.
- Ortega-Morales, O. 2006. Biopelículas microbianas asociadas a monumentos mayas en México y su papel en el deterioro. *Rev. Latinoam. Microbiol.* 48:188-195.
- Schabereiter-Gurtner, C., Piñar, G., Vybiral, D., Lubitz, W., y Rölleke, S. 2001. *Rubrobacter*-related bacteria associated with rosy discolouration of masonry and lime wall paintings. *Arch. Microbiol.* 176: 347-354.

# Una experiencia de laboratorio para la separación de cubiertas en la documentación de pinturas rupestres y murales afectadas por biodeterioro

M.A. Rogerio-Candelera, L. Laiz y C. Saiz-Jimenez

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

Consideramos que las pinturas rupestres y, en general, murales son uno más de los elementos que constituyen el sistema natural en que se insertan. Por ello, la documentación con vistas a la conservación no puede soslayar los distintos elementos que constituyen dicho sistema ni tampoco la dimensión espacial de los mismos, que constituye una medida de la interacción entre estos. Así, la documentación de pinturas murales, especialmente de aquellas afectadas por procesos de biodeterioro, se convierte en un problema de microcartografía, en el que cada uno de los factores integrantes del sistema se entiende como una cubierta cartográfica diferenciada, y por tanto, representable espacialmente.

Para la construcción de representaciones cartográficas existen dos posibles grupos de enfoques: por un lado, aquellos que inciden en el levantamiento topográfico por métodos más o menos tradicionales, y la representación, sobre esta base, de los elementos considerados relevantes para la comprensión del sistema; por otro, la utilización de datos procedentes de sensores remotos para establecer una clasificación, interpretable a posteriori si esta es no supervisada, o basada en áreas de entrenamiento para una definición de clases a priori.

Nuestro planteamiento se ha basado en la posibilidad de reducir datos redundantes que da la aplicación de análisis de Componentes Principales a las imágenes con alto grado de correlación, y a la elaboración de imágenes en falso color a partir de las bandas obtenidas mediante este tratamiento estadístico.

Para ello, se simuló en laboratorio el biodeterioro de pinturas rupestres mediante un modelo que incluye probetas de dos tipos de piedra, elegidas en función de su diferente granulometría, color y porosidad, sobre las que se pintaron motivos fácilmente reconocibles utilizando hematites como pigmento y aceite de oliva como ligante, cajas estériles de policarbonato y bentonita estéril para mantener la humedad. Para favorecer la colonización de las probetas se humedeció con medio de cultivo BG11 (Ariño 1996), especialmente indicado para el cultivo de cianobacterias, y posteriormente se inocularon con una suspensión de algas y cianobacterias activas procedentes de muestra natural, incubándose a 20 °C con luz continua durante treinta días.

Transcurrido este tiempo, se fotografiaron las probetas con luz natural y con iluminación ultravioleta. A partir de estas imágenes RGB se aplicó análisis de Componentes Principales, obteniéndose tres bandas distintas para cada imagen original, con porcentajes decrecientes de información recogidos en cada una de ellas (Martínez Arias 1999), si bien totalmente descorrelacionadas entre sí (Shennan 1992). La combinación de bandas procedentes de las fotografías obtenidas con distinta iluminación ha permitido construir imágenes en falso color fácilmente interpretables que expresan gráficamente la existencia de distintas cubiertas de manera diferenciada.

Para comprobar la idoneidad de este enfoque en superficies naturales se utilizaron imágenes de un área bastante deteriorada de estucos romanos pintados procedentes de la tumba de las

Tres Puertas, de la Necrópolis Romana de Carmona, obteniéndose con él buenos resultados que permitieron discernir entre áreas colonizadas, la presencia de pigmento, la evidenciación de las concreciones calcáreas y la detección de superficies de estuco en aceptable grado de conservación oculto bajo estas.

El paso obligado, tras este tratamiento, es la reconstrucción de la geometría de las imágenes, la vectorización de las distintas cubiertas y su gestión integrada mediante sistemas de información geográfica, para poder dar cuenta de la dimensión espacial de los distintos factores que operan en los distintos sistemas afectados por biodeterioro.

El conocimiento de la dimensión espacial de los distintos elementos implicados en los sistemas naturales que incluyen entre sus componentes las pinturas murales es un elemento básico para la elaboración de estrategias de conservación adecuadas. Para ello, la utilización de técnicas de análisis de imagen como las empleadas en este trabajo se constituye en una herramienta de gran utilidad.

**Agradecimientos:** El presente estudio se ha llevado a cabo en el marco de los proyectos “Aplicación de técnicas de teledetección a la monitorización del biodeterioro y documentación de bienes culturales en ambientes hipogeos”, PIE 200440E327 (CSIC), y “Comunidades microbianas asociadas al desarrollo de eflorescencias en monumentos andaluces: determinación de su actividad metabólica mediante técnicas moleculares y papel en el biodeterioro”, P06-RNM-02318 (Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa, Junta de Andalucía). LL agradece al CSIC el proyecto 200740I011. Se agradecen a la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía las facilidades prestadas para el estudio.

## Referencias

- Ariño, X. 1996. *Estudio de la colonización, distribución e interacción de líquenes, algas y cianobacterias con los materiales pétreos de los conjuntos arqueológicos de Baelo Claudia y Carmona*. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona.
- Martínez Arias, R. 1999. *El análisis multivariante en la investigación científica*. Madrid: La Muralla/Hespérides (Cuadernos de Estadística nº 1).
- Shennan, S. 1992. *Arqueología cuantitativa*. Barcelona: Crítica.

# Presencia de actinobacterias del género *Rubrobacter* en tumbas de la Necrópolis de Carmona

L. Laiz, V. Jurado, E.A. Akatova, J.M. González y C. Saiz-Jimenez

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

La Necrópolis de Carmona fue descubierta a finales del siglo XIX. Está formada por un gran número de tumbas excavadas en la roca, de las que se conocen más de 600 y otras muchas, aún por descubrir. Fue utilizada por los romanos durante los siglos I y II antes de Cristo y es uno de los yacimientos de la Península Ibérica que conservaba mayor número de pinturas, pues las tumbas se decoraban con enlucidos de cal para ocultar la roca. Sin embargo, la Necrópolis se encuentra en mal estado de conservación y las pocas pinturas existentes presentan un acusado biodeterioro. Por ello, en los últimos años, se han realizado varios estudios encaminados a caracterizar y controlar el biodeterioro de estas tumbas (Ariño y Saiz-Jimenez 1997, Piñar et al. 2001, Akatova et al. 2007).

Estudios previos pusieron de manifiesto la biodiversidad bacteriana de las paredes de las tumbas de esta Necrópolis, ya que se aislaron y describieron nuevas especies de los géneros *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Oceanobacillus*, *Paenibacillus* y *Virgibacillus* (Heyrman et al. 2003, 2005, Lee et al. 2006, Smerda et al. 2006). De estos géneros, solamente *Arthrobacter* pertenece a la clase *Actinobacteria*. Sin embargo, las bacterias de la clase *Actinobacteria* son muy abundantes en los monumentos deteriorados y particularmente interesantes en cuanto a biodeterioro, debido a que su naturaleza micelial, les confiere una gran capacidad de penetración en el sustrato. Además, producen como metabolitos secundarios pigmentos y sustancias bioactivas, que inhiben el crecimiento de otros microorganismos y posibilitan el crecimiento de las cepas productoras. También son capaces de inducir la cristalización de sales y formar eflorescencias, las cuales contribuyen en gran medida al deterioro.

Dentro de la clase *Actinobacteria*, existen seis órdenes: *Acidimicrobiales*, *Actinomycetales*, *Bifidobacteriales*, *Coriobacteriales*, *Rubrobacterales* y *Sphaerobacterales*. Se han descrito 158 géneros, la mayoría de *Actinomycetales*. Esto se debe a que las bacterias pertenecientes a otros grupos como *Acidimicrobiales* y *Rubrobacteriales*, son más difíciles de aislar y cultivar y requieren meses de crecimiento para su completa caracterización.

Intentando avanzar en el conocimiento de la ecología de las actinobacterias y en la búsqueda de soluciones para el biodeterioro que originan, se realizaron aislamientos selectivos y caracterización de actinobacterias procedentes de las paredes y pinturas murales deterioradas de dos de las tumbas más importantes de la Necrópolis, las Tumbas de Servilia y de Postumio.

Las actinobacterias aisladas en la Necrópolis de Carmona representaron un 37,5% del total de aislamientos, siendo las especies de *Streptomyces* las más abundantes. Las bacterias pertenecientes a la clase *Proteobacteria* representaron un 18,75% y las pertenecientes a la clase Firmicutes, un 43,75%. Entre las actinobacterias, se identificaron, mediante secuenciación del gen que codifica para el ARN ribosómico 16S, dos cepas de *Rubrobacter* sp.: C05-TS-X24-S3 en la Tumba de Servilia y C05-TP-Z26-S14 en la Tumba de Postumio. Estas dos cepas presentaron morfología y coloración similares: colonias rojas, circulares, cóncavas y de consistencia seca.

Actualmente, existen 3 especies descritas del género *Rubrobacter*: *R. radiotolerans*, *R. xylanophilus* y *R. taiwanensis* (Suzuki et al. 1988, Carreto et al. 1996, Chen et al. 2004), y todas

ellas crecen a 55 °C. Hasta hoy ninguna se había aislado de monumentos. Nuestras cepas C05-TS-X24-S3 y C05-TP-Z26-S14 tienen un porcentaje de similitud del 94% con *R. radiotolerans*. Sin embargo, este porcentaje es del 98% cuando se compara con las secuencias de los clones obtenidos de las pinturas murales de la capilla del Castillo de Herberstein en Austria (Schabereiter-Gurtner et al. 2001) y con las secuencias de los clones obtenidos de los frescos medievales de la cripta del Pecado original, en Matera, Italia (Imperi et al. 2007).

En la Necrópolis de Carmona, las técnicas moleculares también han permitido detectar un elevado porcentaje de clones cuyo homólogo más cercano es *Rubrobacter* sp. Se analizaron 28 clones de ADN y 110 clones de ARN. El 7,1% de los clones de ADN correspondió a *Rubrobacter* sp. Este porcentaje fue mayor, 9,1%, en el caso de los clones de ARN, indicando que las cepas cultivadas son metabólicamente activas. Además, la secuencia de los clones CAR-X24-D5 y CAR-X24-A7 correspondió a la de la cepa aislada C05-TS-X24-S3 en la misma muestra, demostrando su implicación en el biodeterioro de las pinturas de la Tumba de Servilia.

En resumen, las cepas aisladas de las paredes de la Necrópolis de Carmona representan un avance en el estudio de la clase *Actinobacteria* en general, y de las bacterias pertenecientes al grupo *Rubrobacteridae* en particular. Nuestros resultados demuestran que las cepas de *Rubrobacter* implicadas en el biodeterioro de la Necrópolis corresponden a nuevas especies de *Rubrobacter*, puesto que nuestros aislamientos presentan diferencias fenotípicas con las ya descritas, como por ejemplo la incapacidad de crecer a 55°C, en medio TSA, etc.

Por otra parte, todavía se plantean algunos interrogantes acerca de la abundancia y distribución de las *Rubrobacteria* en los ecosistemas terrestres, debido a que existen líneas filogenéticas de este grupo de bacterias que carecen de representantes cultivados (Janssen 2006). Las cepas que hemos logrado cultivar en este estudio y la investigación de sus características fisiológicas, demuestran que el género *Rubrobacter* está ampliamente distribuido entre los monumentos deteriorados, donde aparecen en nichos moderadamente halófilos, a partir de los que se ha logrado cultivar por primera vez, habiéndose corroborado su implicación en los procesos de biodeterioro.

**Agradecimientos:** LL y JMG agradecen al CSIC los proyectos 200740I011 y 200640I197, respectivamente. EA y VJ agradecen los contratos Marie Curie Action MEST-CT2004-513915 e I3P-postdoctoral (CSIC-ESF) respectivamente. Este trabajo ha sido financiado por la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa, proyecto P06-RNM-02318.

## Bibliografía

- Akatova, E.A., Gonzalez, J.M. y Saiz-Jimenez, C. 2007. Analysis of the microbial communities from a restored tomb in the Necropolis of Carmona (Sevilla, Spain). *Coalition* 14: 2-5.
- Ariño, X. y Saiz-Jimenez, C. 1997. Deterioration of the Elephant tomb (Necropolis of Carmona, Seville, Spain). *Int. Biodeter. Biodegr.* 40: 233-239.
- Carreto, L., Moore, E., Nobre, M.F., Wait, R., Riley, P.W., Sharp, R.J. y Da Costa, M.S. 1996. *Rubrobacter xylanophilus* sp. nov., a new thermophilic species isolated from a thermally polluted effluent. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 46: 460-465.
- Chen, M.Y., Wu, S.H., Lin, G.H., Lu, C.P., Lin, Y.T., Chang, W.C. y Tsay, S.S. 2004. *Rubrobacter taiwanensis* sp. nov., a novel thermophilic, radiation-resistant species isolated from hot springs. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 54: 1849-1855.
- Heyrman, J., Balcaen, A., Rodriguez-Diaz, M., Logan, N.A., Swings, J. y De Vos, P. 2003. *Bacillus decolorationis* sp. nov., isolated from biodeteriorated parts of the mural paintings at the Servilia tomb (Roman necropolis of Carmona, Spain) and the Saint-Catherine chapel (Castle Herberstein, Austria). *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 53: 459-463.
- Heyrman, J., Verbeeren, J., Schumann, P., Swings, J., y De Vos, P. 2005. Six novel *Arthrobacter* species isolated from deteriorated mural paintings. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 55: 1457-1464.



- Imperi, H.F., Caneva, G., Cancellieri, L., Ricci, M.A., Sodo, A. y Visca, P. 2007. The bacterial aetiology of rosy discoloration of ancient wall paintings. *Environ. Microbiol.* doi:10.1111/j.1462-2920.2007.01393.x
- Janssen, P.H. 2006. Identifying the dominant soil bacterial taxa in libraries of 16S rRNA and 16S rRNA genes. *Appl. Environ. Microbiol.* 72: 1719–1728.
- Lee, J.-S., Lim, J.-M., Lee, K.C., Lee, J.-C., Park, Y.-H. y Kim, C.-J. 2006. *Virgibacillus koreensis* sp. nov., a novel bacterium from salt field, and transfer of *Virgibacillus picturae* to the genus *Oceanobacillus* as *Oceanobacillus picturae* comb. nov. with emended descriptions. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 56: 251–257.
- Piñar, G., Saiz-Jimenez, C., Schabereiter-Gurtner, C., Blanco-Varela, M.T., Lubitz, W. y Rölleke, S. 2001. Archaeal communities in two disparate deteriorated ancient wall paintings: detection, identification and temporal monitoring by DGGE. *FEMS Microbiol. Ecol.* 37: 45–54.
- Schabereiter-Gurtner, C., Piñar, G., Vybiral, D., Lubitz, W. y Rölleke, S. 2001. *Rubrobacter*-related bacteria associated with rosy discolouration of masonry and lime wall paintings. *Arch. Microbiol.* 176: 347–354.
- Smerda, J., Sedláček, I., Páková, Z., Krejčí, E. y Havel, L. 2006. *Paenibacillus sepulcri* sp. nov., isolated from biodeteriorated mural paintings in the Servilia tomb. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 56: 2341–2344.
- Suzuki, K., Collins, M.D., Lijima, E. y Komagata, K. 1988. Chemotaxonomic characterization of a radiotolerant bacterium, *Arthrobacter radiotolerans*: description of *Rubrobacter radiotolerans* gen. nov., comb. nov. *FEMS Microb. Lett.* 52: 33–40.



# Estudio del soporte y ornamentación de la bóveda de la Sala Capitular y de la escalera del Ayuntamiento de Sevilla

M.L. Franquelo\*, A. Duran\*, M<sup>a</sup>.D. Robador\*\*, M.C. Jimenez de Haro\*, L.K. Herrera\*, P. Gimena\*\* y J.L. Perez-Rodriguez\*

*\*Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, CSIC-Universidad de Sevilla. Américo Vespucio 49, 41092 Sevilla*

*\*\*Escuela Técnica de Arquitectura, Universidad de Sevilla. Reina Mercedes, 2. 4102 Sevilla*

Se aborda el estudio en profundidad del soporte, mortero, diversas capas de preparación y policromía, así como la identificación de posibles restos orgánicos hallados tanto en la composición de los elementos arquitectónicos de la bóveda de la Sala Capitular como de la escalera del Ayuntamiento de Sevilla. Para ello se han realizado diversas tomas de muestras en distintos estadios de su intervención, a medida que se producían nuevos hallazgos, y otros estratos y materiales iban quedando al descubierto.

Siendo el objetivo de este estudio la caracterización química y mineralógica de materiales tan diversos como la piedra, mortero y pigmentos e identificación de posibles aglutinantes y filmógenos de naturaleza orgánica (Gettens y Stout 1942, Doerner 1994), se han empleado las siguientes técnicas analíticas: espectroscopia visible, espectroscopia y microespectrometría de infrarrojos con transformada de Fourier (Mazzeo et al. 2007), microscopía óptica, fotocolorimetría, microscopía electrónica de barrido acoplada a microanálisis de energías dispersivas de rayos X y difracción de rayos X.

Los resultados obtenidos en la bóveda muestran un dorado aplicado sobre una capa de bol, depositado a su vez sobre un estrato de blanco de plomo sobre un soporte de calcita. Posteriormente, la bóveda fue dorada de nuevo empleando una técnica similar, probablemente debido a alteraciones en el dorado primitivo. Por último, en el siglo XIX, todo el techo, salvo las partes escritas, fue blanqueado empleando una mezcla de calcita y blanco de plomo.

Se empleó la plata para recubrir la espada del Rey Juan I (hornacina nº 27), y pan de oro en los atributos reales. El mortero fue elaborado con limo y dolomita en algunas zonas y calcita en otras. Los altorrelieves estaban asimismo dorados.

Los pigmentos empleados en la ornamentación han sido azurita, malaquita, bermellón, albayalde ó blanco de plomo, negro de huesos y colorantes vegetales.

La piedra de los muros de la escalera es de tipo calcáreo y se detectan pequeños restos muy tenues de policromía rojiza constituida por ocre (minerales arcillosos y óxidos de hierro), y presentan costras de yeso superficiales debidas probablemente a contaminación.

En cuanto a los componentes orgánicos presentes, se han identificado restos proteicos fundamentalmente así como algún resto oleoso en los muros de la escalera. En cuanto al estuco de la bóveda de la Sala Capitular parece estar revestido de compuestos oleorresinosos y céreos empleados como protectivos. Se han detectado aglutinantes oleosos en los estratos pictóricos. La caracterización de los materiales originales y añadidos con posterioridad en la ornamentación ha ido guiando el empleo de materiales a lo largo del proceso de restauración de tal edificio histórico.

## **Bibliografía**

Gettens, R. y Stout, G.L. 1942. *Painting materials, a short encyclopedia*. New York: Dover Publications.

Doerner, M. 1994. *Los materiales de pintura y su empleo en el arte*. Barcelona: Reverté.

Mazzeo, R., Joseph, E., Prati, S. y Millemaggi, A. 2007. Attenuated Total Reflection–Fourier transform infrared microspectroscopic mapping for the characterisation of paint cross-sections. *Analytica Chimica Acta* 599: 107–117.

# Aplicación de la radiación Sincrotrón en el estudio de estratos pictóricos combinando $\mu$ -XRD y $\mu$ -XRF

L.K. Herrera\*, M. Cotte\*\*, \*\*\*, M.C. Jimenez de Haro,\* A. Duran\*\*, A. Justo\* y J.L. Perez-Rodriguez\*

*\*Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (CSIC-Universidad de Sevilla). Avda Americo Vespucio, s/n. 41092 Sevilla*

*\*\*European Synchrotron Radiation Facility, BP 220, 38043 Grenoble Cedex, Francia*

*\*\*\*Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France (C2RMF), CNRS UMR 171, Palais du Louvre, Porte des Lions, 14, quai François Mitterrand, 75001 Paris, Francia*

La luz de sincrotrón es una radiación electromagnética con múltiples aplicaciones en el estudio de las propiedades de la materia. Esta radiación emitida por electrones circula a altas velocidades en trayectorias curvilíneas bajo un intenso campo magnético.

La radiación sincrotrón asociada a las técnicas de DRX y FRX proporciona un buen número de ventajas en relación a las técnicas convencionales (Bohic et al. 2005). La técnica de microdifracción (SR- $\mu$ XRD) y microfluorescencia (SR- $\mu$ XRF) permiten realizar el análisis de muestras en regiones de 5x5  $\mu$ m, lo cual es muy importante ya que se pueden identificar estrato a estrato los diferentes pigmentos inorgánicos presentes.

El objetivo de este trabajo es estudiar el pigmento marron utilizado en las pinturas murales anónimas con terminaciones en seco al óleo, localizadas en el Techo del Crucero de la Nave del Evangelio de la Iglesia de San Agustín de Córdoba.

Mediante el uso de SEM/EDX se identificó la presencia hierro, manganeso, silicio, aluminio, potasio, carbono, azufre, calcio y oxígeno, y en análisis puntuales la presencia de fósforo, cerio, neodimio, lantano y calcio, junto con pequeñas proporciones de hierro, silicio, aluminio, potasio, oxígeno y carbono. Debido a la poca cantidad de muestra, ha sido necesario su estudio utilizando la técnica de difracción en ángulo rasante. Considerando que se emplea el total de la muestra y que el pigmento marrón se encuentra en el estrato más delgado, acompañado de otros componentes, y que sus poderes reflectantes son menos intensos que los de otros minerales presentes en el total de la muestra, su caracterización por rayos X resulta difícil. Aparecen difracciones correspondientes a hidrocerusita y cerusita, componentes del albayalde, minerales que están en proporción alta en el total y tienen alto poder reflectante. El yeso puede proceder del polvo depositado en la superficie de la pintura, ya que si procediese de una pintura realizada al temple con yeso, esta aparecería en la capa de policromía. La calcita detectada por rayos X puede tener la misma procedencia. También aparecen difracciones que pueden atribuirse a la monazita (La,Ce,Nd) PO<sub>4</sub>, justificando la presencia de fósforo, cerio, lantano y neodimio en el análisis químico y de fosfatos en el estudio por espectroscopia de infrarrojos.

Para determinar la presencia de óxidos de hierro y algunas trazas de monazita dentro de estas pinturas se recurrió al uso de la radiación sincrotrón.

Los experimentos se realizaron en el ESRF línea ID18F (Solé et al. 2007). Las muestras se prepararon en secciones transversales muy delgadas haciendo uso del microtomo para obtener espesores de 20-30  $\mu$ m, de tal manera que las experiencias tanto de fluorescencia como de difracción en el sincrotrón se pudieran realizar por transmisión.

El estudio se ha centrado en el estrato de color marrón, rico en óxidos de hierro y con la presencia de monazita. En el experimento se realizaron simultáneamente los análisis químicos por microfluorescencia (SR- $\mu$ XRF) y microdifracción (SR- $\mu$ XRD), analizando cada vez un área de 15x15  $\mu$ m. Para la SR- $\mu$ XRD se empleó un detector bidimensional CCD, y para la SR- $\mu$ XRF un detector de Silicio. La longitud de onda utilizada fue de 0.442801Å.

Mediante la técnica de SR- $\mu$ XRD se observa la variación de la intensidad de los picos de óxidos de hierro (goetita, lepidrocrocita y hematites) en el estrato marrón, para el estrato de color blanco aparecen difracciones correspondientes a hidrocerusita, cerusita y dentro del estrato marrón trazas de monazita.

Es interesante confirmar la presencia de monazita, ya que este mineral no se ha descrito en la literatura como base de pigmentos, sino que debe estar asociado a los óxidos de hierro y manganeso.

**Agradecimientos:** Marie Curie Action MEST- CT2004- 513915 y MAT-2004-04498. ESRF (ID 21 y ID18F) Asistencia en el desarrollo del experimento y posterior tratamiento de datos (EC 101).

### Bibliografía

- Bohic, S., Simionovici, A., Biquard, X., Martinez-Criado G. y Susini, J. 2005. Synchrotron X-ray microfluorescence and microspectroscopy: Application and Perspectives in Materials Science. *Oil & Gas Science and Technology* 60(6): 979-993.
- Solé, V.A., Papillon, E., Cotte, M., Walter, PH. y Susini, J. 2007. PyMCA: A multiplatform code for the analysis of energy-dispersive X-ray spectra. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy* 62(1): 63-68.

# Análisis de imagen para la evaluación de la bioreceptividad de materiales utilizados en el Patrimonio Cultural

M.I. Gomes\*, M.A. Rogerio-Candelera\*\*, A.Z. Miller\*, M.F. Macedo\*, A. Dionísio\*\*\*, L. Laiz\*\* y C. Saiz-Jimenez\*\*

\**Departamento de Conservação e Restauro, Faculdade de Ciências y Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Monte de Caparica, 2829-516 Caparica, Portugal*

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

\*\*\**Centro de Petrologia e Geoquímica, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1049-001, Lisboa, Portugal*

En los últimos años, muchos autores conceden gran importancia al deterioro biológico, o biodeterioro de materiales de construcción, considerando que la colonización biológica es uno de los principales problemas para la conservación del Patrimonio Cultural en piedra. Por ello, la comprensión de las causas del biodeterioro de monumentos y edificios históricos tiene importancia fundamental en la adquisición de nuevos tratamientos de restauración y prevención.

La colonización y crecimiento de comunidades microbianas en la piedra puede causar daños estéticos, químicos y mecánicos. A medida que avanza la colonización, la superficie de los materiales pétreos se modifica: mediante descomposición de algunos minerales, creación de una barrera que retiene humedad, alteración de la permeabilidad de las rocas para gases y líquidos, y formación de capas de alteración, entre otros efectos indeseados. Este proceso de colonización se relaciona con la bioreceptividad de las superficies pétreas, definida como el conjunto de propiedades de los materiales que contribuyen al establecimiento, anclaje y desarrollo de la fauna y/o flora (Guillitte 1995). Los factores ambientales combinados con las propiedades intrínsecas de la piedra crean condiciones favorables para el desarrollo de microorganismos. Los microorganismos fotosintéticos son muy importantes en estos procesos desde el punto de vista ecológico ya que, debido a su carácter autótrofo, suelen ser los pioneros en la colonización de superficies pétreas. Por ello se ha propuesto, como método experimental para evaluar la bioreceptividad de materiales pétreos, la medida de la cantidad de clorofila  $\alpha$  presente en las muestras como indicador de la biomasa total (Ariño 1996, Prieto y Silva 2005). Otros trabajos han aplicado el método a la detección *in vivo* de la presencia de clorofila  $\alpha$  mediante espectrofluorimetría y la cuantificación del área colonizada como porcentaje del área total de las muestras (Guillitte y Dreesen 1995, Miller *et al.* 2006).

Las técnicas de análisis de imagen presentan gran utilidad en la cuantificación de los biofilms, dado que los efectos de la acción de los microorganismos tienen una importante dimensión espacial, poco estudiada. Precisamente, los métodos de análisis de imagen permiten monitorizar el desarrollo de fenómenos de biodeterioro atendiendo a sus componentes espacial y temporal (Rogerio-Candelera *et al.* 2008). Las imágenes originales están sujetas a una cierta variabilidad en su reflejo de las relaciones geométricas del objeto real y a ciertas diferencias en la iluminación. Debido a ello, para poder aplicar análisis de imagen de manera fiable, es necesario un cierto grado de homogeneización de las imágenes, de manera que sean comparables entre sí tanto desde el punto de vista de la geometría interna como del abanico espectral cubierto por las mismas.

En este trabajo se utilizan herramientas de análisis de imagen para evaluar el crecimiento de biopelículas fotosintéticas en caliza de Ançã, un tipo de piedra ampliamente utilizado en

edificios históricos de Portugal. La monitorización del área colonizada por los microorganismos se ha realizado aplicando una metodología que incluye la restitución de la geometría de las imágenes, su homogeneización radiométrica, la creación de series temporales y la aplicación de filtros para la detección del biofilm (Rogerio-Candelera *et al.* 2008). Los resultados obtenidos permiten tener una visión cuantitativa del crecimiento microbiano, que hace posible la comparación en términos de bioreceptividad entre distintos materiales.

**Agradecimientos:** El presente estudio se ha llevado a cabo en el marco de los proyectos “Aplicación de técnicas de teledetección a la monitorización del biodeterioro y documentación de bienes culturales en ambientes hipogeos”, PIE 200440E327 (CSIC), “Comunidades microbianas asociadas al desarrollo de eflorescencias en monumentos andaluces: determinación de su actividad metabólica mediante técnicas moleculares y papel en el biodeterioro”, P06-RNM-02318 (Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa, Junta de Andalucía) y “Monitorización de la bioreceptividad de materiales empleados en el Patrimonio Cultural”, 2007PT0041 (CSIC-FCT). LL agradece al CSIC el proyecto 200740I011. Se agradece a la Fundação para a Ciência e Tecnologia – MCIES la beca predoctoral de AZM.

## Referencias

- Ariño, X. 1996. *Estudio de la colonización, distribución e interacción de líquenes, algas y cianobacterias con los materiales pétreos de los conjuntos arqueológicos de Baelo Claudia y Carmona*. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona.
- Guillitte, O. 1995. Bioreceptivity: a new concept for building ecology studies. *The Science of the Total Environment* 167: 215-220.
- Guillitte, O. y Dreesen, R. Laboratory chamber studies and petrographical analysis as bioreceptivity assessment tools of building materials. *The Science of the Total Environment* 167: 365-374.
- Miller, A., Dionisio, A. y Macedo, M.F. 2006. Primary bioreceptivity: A comparative study of different Portuguese lithotypes. *International Biodeterioration and Biodegradation* 57: 136-142.
- Prieto, B. y Silva, B. 2005. Estimation of the potential bioreceptivity of granitic rocks from their intrinsic properties. *International Biodeterioration and Biodegradation* 56: 206-215.
- Rogerio-Candelera, M.A., Laiz, L., González, J.M. y Sáiz-Jiménez, C. 2008. Monitorización del crecimiento microbiano en una tumba romana mediante técnicas de teledetección. En M. García Vuelta, I. Montero Ruiz y S. Rovira Llorens (eds.) *Actas del VII Congreso Ibérico de Archeometría* (en prensa).



## Dos tablas de Vasco Pereira del Museo de Bellas Artes de Sevilla analizadas por FRX portátil

A. Križnar\*\*, M.V. Muñoz\*, F. de la Paz\*, M.A. Respaldiza\*\* y M. Vega\*

\**Museo de Bellas Artes de Sevilla*

\*\**Centro Nacional de Aceleradores, Universidad de Sevilla.*

Aunque de origen portugués, Vasco Pereira pertenece a la escuela pictórica Sevillana del siglo XVI. Llegó siendo joven a Sevilla, donde su actividad está documentada desde 1561 hasta su muerte en 1609. Su estilo evolucionó desde el espíritu manierista imperante en Sevilla, hacia un manierismo más intuitivo que realmente alcanzado. Sus composiciones se caracterizan por el uso de un dibujo de contornos bien definidos que dota a las figuras de una plasticidad casi escultórica. El Museo de Bellas Artes de Sevilla conserva tres obras de Pereira, realizadas sobre tabla. La más pequeña representa a *San Pedro Mártir* (hacia 1585) y probablemente estuviera dedicada a un oratorio de devoción privada. Las otras dos obras *Santa Ana con la Virgen* y *San Juan Bautista* pertenecían a un retablo destinado a la capilla sepulcral del mercader griego Don Luís de la Isla y de Siringo, que contrató a Pereira en 1598. El Museo adquirió estas dos pinturas en 1982 y en la actualidad forman parte de la exposición permanente.

La finalidad de este estudio era conocer los pigmentos empleados por el artista en las dos piezas del retablo. Se eligió la técnica no destructiva de fluorescencia de rayos X (FRX) para examinarlas directamente *in situ* durante los días en que el museo está cerrado al público. El equipo de FRX usa un tubo de Rayos X de 30 kV con el ánodo de W y un detector SSD con una resolución en energías de 140 eV. Un sistema de dos láseres ayuda a mantener la reproductividad en la geometría de las medidas. La evaluación semi-cuantitativa se llevó a cabo usando directamente las áreas de los picos de FRX obtenidas en el analizador multicanal. Estas áreas pueden ofrecernos una estimación semi-cuantitativa de los elementos presentes en la muestra porque son proporcionales a las concentraciones en peso de dichos elementos y su raíz cuadrada nos sirve como medida del error experimental.

Los espectros obtenidos de las dos pinturas presentan una gran similitud. El elemento predominante en todos los espectros es Pb, además se encuentran Ca, Mn, Fe, Cu y en algunos puntos también Hg. Los picos poco definidos de Ti, V, Ba, Cr, Cd en algunas zonas (sobre todo en la tabla de San Juan Bautista) indican intervenciones posteriores con pigmentos modernos. Los números de cuentas de Pb varían dependiendo del color claro u oscuro. El plomo puede pertenecer, en la mayoría de los casos, al pigmento blanco de plomo y también a la preparación/imprimación del cuadro. Una cierta cantidad de Pb podría también provenir del secativo. Estos usos diferentes no se pueden especificar con la FRX.

Los pigmentos empleados son básicamente los mismos en ambas tablas. El pigmento blanco es blanco de Pb, encontrado en la toca de Santa Ana, en la oveja de San Juan Evangelista y en las encarnaduras, donde se mezcla con el rojo cinabrio. Los pigmentos rojos son principalmente cinabrio (picos altos de Hg) y tierra roja (Fe), los dos destacan en el manto de Juan Evangelista. Sin embargo, para el color violeta de la túnica de María, se empleó un rojo orgánico, no detectable con FRX, mezclado con azul azurita. Para el color amarillo se empleó un ocre natural (Ca, Fe) o quizás también una pequeña cantidad de amarillo de Pb ó Pb-Sn, si bien no se detectan picos muy definidos de estaño. El azul es azurita, como lo demuestran los

picos altos de Cu en el celaje, en el manto de María y en el ropaje de Santa Ana. En este último caso sorprende la presencia alta de Cu, ya que el ropaje lo observamos de un color pardo-marrón que probablemente se deba a una alteración química del pigmento azul. Picos altos de Cu se encuentran también en los espectros de color verde, indicando el uso de un verde a base de cobre (malaquita, verdigris o un resinato de cobre). En la tabla de San Juan Evangelista se encontró también una pequeña cantidad de tierra verde (Si, Mn, Fe). El pigmento marrón es ocre tostado (Ca, Fe) y sombra natural o tostada (Mn, Fe). El negro es orgánico; la alta presencia de Ca señala hacia un negro de huesos. Los colores se aclaraban añadiendo blanco de Pb y se oscurecían añadiendo una mezcla de sombra natural o tostada con un verde a base de Cu.

## Proyecto interdisciplinar para la conservación del Bien de Interés Cultural Cueva de Nerja (Málaga, España)

A. Garrido\*, J.L. Sanchidrián\*\*, F. Carrasco\*,\*\*\*, J.M. Calaforra\*,\*\*\*\*, M. Hernández-Mariné\*,\*\*\*\*\*, C. Liñán\*, \*\*\* y Y. del Rosal\*

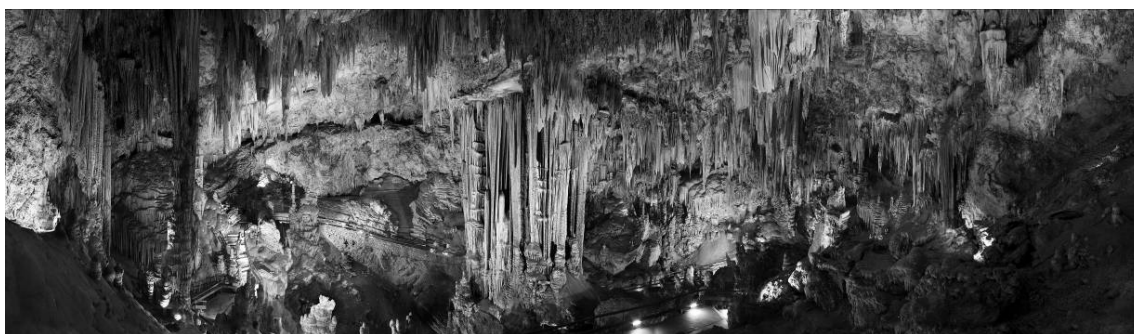
\* *Fundación Pública de Servicios Cueva de Nerja. Instituto de Investigación*

\*\**Área de Prehistoria, Departamento de Geografía y Ciencias del Territorio, Universidad de Córdoba*

\*\*\* *Departamento de Geología, Universidad de Málaga*

\*\*\*\* *Departamento de Hidrogeología y Química Ambiental, Universidad de Almería*

\*\*\*\*\* *Departamento de Botánica, Facultad de Farmacia, Universidad de Barcelona*



La Cueva de Nerja (Málaga) fue descubierta en 1959 y abierta al público un año más tarde, tras su acondicionamiento turístico. La cavidad es uno de los principales atractivos turísticos de la Costa del Sol oriental, con una media de 500.000 visitantes anuales que la convierten en uno de los principales motores económicos de la comarca malagueña en la que se ubica, la Axarquía.

Fue declarada Monumento Histórico Artístico en 1961, Bien de Interés Cultural (BIC) en 1985 y posteriormente, en 2005, obtuvo la categoría de Zona Arqueológica. La cavidad alberga una secuencia crono-cultural y paleoambiental comprendida entre 25000 y 3600 años antes del presente y además constituye uno de los yacimientos más ricos del sur peninsular en manifestaciones artísticas prehistóricas, ya que cuenta con más de trescientos grupos pictóricos y grabados parietales catalogados, pertenecientes al Paleolítico Superior y a la Prehistoria Reciente.

La Fundación Cueva de Nerja es el organismo encargado de la tutela y gestión del BIC y de su importante Patrimonio y, prácticamente desde su origen, ha auspiciado la investigación subvencionando numerosos proyectos científicos relativos a la cavidad. Desde 1980, una Comisión Científica asesora a la Fundación en aspectos relacionados con la investigación y conservación de la cueva. A partir de 1999, los trabajos de investigación, conservación y puesta en valor de la cavidad se organizan a través del Instituto de Investigación Cueva de Nerja, integrado por el Conservador de la cueva, la Comisión Científica Asesora y por un equipo interdisciplinar de técnicos, especialistas en las áreas de Prehistoria, Geología y Biología.

En 2007, casi cincuenta años después del descubrimiento de la cavidad, se definen las líneas de actuación encaminadas a la puesta en marcha de un Proyecto de Investigación interdisciplinar que permita avanzar en el conocimiento integral del BIC y llevar a cabo una diagnosis de su estado actual.

Entre los objetivos del Proyecto, se encuentran el estudio del estado de conservación de las manifestaciones artísticas prehistóricas que incluye, entre otros, aspectos relativos al análisis de los pigmentos, del soporte y, en su caso, de los principales agentes de degradación. Asimismo se evaluará el estado actual de los perfiles resultantes de las distintas campañas de excavación arqueológica efectuadas en la cavidad y se determinarán las condiciones medioambientales más adecuadas para garantizar la correcta preservación del Patrimonio Arqueológico. Se profundizará en la caracterización hidrogeológica, sedimentológica y climática de la cavidad, con especial atención al estudio de la variabilidad espacial y temporal de los parámetros climáticos y su relación con los visitantes. El establecimiento de un modelo climático de la cueva permitirá determinar su capacidad de carga y mejorar su gestión y conservación. Se efectuará asimismo una cartografía de las principales alteraciones de la roca de caja y de los espeleotemas de la cueva, analizando los principales agentes de alteración y proponiendo soluciones para minimizar su impacto. Con objeto de determinar las relaciones existentes entre la parte biótica y abiótica de la cueva se llevará a cabo un estudio detallado de las comunidades microbiológicas. Entre los trabajos a realizar, se encuentra el análisis de los procesos de biodeterioro, la influencia de factores antrópicos en los mismos y su incidencia sobre el Patrimonio Arqueológico, así como un detallado estudio de los microambientes y los grupos de organismos que los integran.

Una amplia metodología que incluye la aplicación, entre otras muchas, de variadas técnicas como el análisis molecular, la microscopía de barrido láser confocal y electrónica de transmisión, la difracción de rayos X o la espectrometría óptica de emisión de plasmas generados por láser, así como el diseño y puesta en marcha de una nueva y completa red de monitorización ambiental, permitirá la consecución de los objetivos propuestos.

El conjunto de los resultados obtenidos proporcionará una valiosa información que permitirá conocer y caracterizar en profundidad los principales factores naturales y antrópicos que intervienen e interaccionan en la Cueva de Nerja, realizar una diagnosis del estado actual en el que se encuentra la cavidad y elaborar un conjunto de actuaciones encaminadas a su adecuada conservación y disfrute, tanto de la sociedad actual como de futuras generaciones.

# Revalorización del Patrimonio Bibliográfico Histórico-Químico presente en las bibliotecas españolas

Ana Belén Martín-Rojo y Joaquín Pérez-Pariente

*Instituto de Catálisis y Petroleoquímica, CSIC. Marie Curie, 2. 28049-Madrid. E-mail: jperez@icp.csic.es*

La gran riqueza de documentos tanto impresos como manuscritos, relevantes para el estudio de la química presente en las bibliotecas españolas constituye un inestimable patrimonio bibliográfico y una importante fuente de investigación para los historiadores de la química. Es necesario, por tanto, que las obras existentes de carácter químico se encuentren adecuadamente clasificadas como tal, ya que en caso contrario se complicaría su identificación y localización. En realidad, esto es lo que sucede actualmente con muchas de las obras antiguas (anteriores al año 1830), debido a que los complejos orígenes de la química dificultan su reconocimiento y como consecuencia, o bien aparecen catalogadas bajo otros campos o bien no se les asigna ninguno. Un ejemplo de búsqueda en el catálogo virtual de la Biblioteca Nacional nos sirve para ilustrar el problema planteado: al introducir materia “química” entre los años 1500 y 1830 se recuperan tan sólo 15 registros de los varios centenares de títulos significativos que posee.

El presente proyecto, iniciándose dentro de la Red Temática Patrimonio Histórico y Cultural del CSIC, surge con el objetivo de la creación de un inventario o censo específico de obras antiguas importantes para el estudio de la historia de la química que se conservan en las bibliotecas españolas pertenecientes al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), así como en la Biblioteca Histórica “Marqués de Valdecilla” de la Universidad Complutense de Madrid (UCM) y la Biblioteca Nacional, en el que se pretende además de incluir la totalidad de los títulos que cubren todos los aspectos de la química y temas estrechamente relacionados, informar de su contenido, localización y referencias, además de proporcionar un enlace a la obra completa y a la ficha bibliográfica. Todo ello está siendo conformado en una “Biblioteca Histórica Química Virtual” (BHQV) accesible a través de la página Web del Instituto de Catálisis y Petroleoquímica del CSIC, que actualmente contiene aproximadamente 800 títulos, que con las correspondientes ediciones sumarían aproximadamente unos 1600 documentos.

En esta BHQV, la alquimia se encuentra ampliamente representada, identificándose obras de muchos autores clave en este campo, entre ellos los representantes de la alquimia aplicada a la medicina Llull (1232-1315) y Rupescissa (1328-1365); Philalethes (Starkey) (1627-1665) primer alquimista norteamericano conocido; o Sedziwój (El Cosmopolita (1556-1646), uno de los más influyentes. También se encuentran colecciones emblemáticas de textos alquímicos como el *Musaeum Hermeticum* (1678) y *Theatrum Chemicum* (1659).

Una gran proporción de los trabajos de los principales protagonistas en la historia de la química están presentes también en la BHQV, como los del farmacéutico Glauber (1604-1670) del que se recogen con 45 documentos, Lemery (1645-1715) con 23 documentos entre los que se encuentran varias ediciones de su exitoso “*Cours de Chymie*”, Boyle con 35, etc.

Incluidas en esta BHQV se encuentran un significativo número de obras o de ediciones poco habituales o difíciles de localizar, algunas de ellas ausentes incluso de las principales bibliotecas europeas como la British Library o la Glasgow University Library. Se pueden citar como ejemplo de obras poco comunes las tres primeras ediciones del *Coelum Philosophorum* de Ulstad, particularmente la 1ª (1525); la 1ª edición (1597) de la *Alchemia* de Livabio, extremadamente escasa; la 1ª edición (1663) de *Traite de la Chymie* de Christopher Glaser y

las ediciones latinas (1680, 1695) del *New Experiments Physico- mechanical Touching de Spring of the Air and its Effects* de Boyle.

Otro tipo de obras recogidas en la BHQV son las escritas en castellano, las cuales en su mayoría no aparecen en ninguno de los catálogos de referencia habituales en esta disciplina y que constituyen aproximadamente el 12% de la BHQV. Entre los títulos se incluyen obras originales de gran importancia en la historia química española, tanto en su aspecto práctico como es el *Arte de los Metales* de Alonso Barba (1640), con hasta 12 ediciones anteriores al siglo XX, como en su aspecto teórico como es el *Palestra Pharmaceutica* de Félix Palacios (1706), de la cual se recogen 8 de las 9 ediciones que se conocen de esta obra. También se recogen traducciones de obras extranjeras que fueron esenciales para la difusión en España de las teorías químicas y de los conocimientos técnicos desarrollados en Europa. Entre las primeras se encuentran las traducciones del *Método de la Nueva Nomenclatura Química* (1788) de Lavoisier por Pedro Gutiérrez Bueno, el *Curso Químico* (1721) de Nicolás Lémery por Félix Palacios y varios títulos de Fourcroy por distintos traductores, entre ellos Carbonell y Bravo que tradujo el *Discurso Sobre la Unión de la Química y la Farmacia* (1804) y del que se aportan a la BHQV un total de 11 documentos. En cuanto a las obras técnicas se encuentran, entre otras, el *Arte de Ensayar Oro y Plata* (1777) de Sage, traducido por Casimiro Gómez Ortega; *Arte de la Tintura de Sedas* (1771) de Macquer por Miguel Jerónimo Suárez, traductor también del *Arte de Vidriería de Neri, Merret y Kunckel* (1752), que incluyó, con abundantes anotaciones del propio Jerónimo Suárez, en su obra *Memorias Instructivas y Curiosas* (1778-1791), con el propósito de mejorar el proceso de fabricación de vidrio de color de alta calidad en la Real Fábrica de Cristales de San Ildefonso.

Aparte de las obras incluidas en la BHQV, se han identificado unos mil documentos más del siglo XIX de contenido químico. Este trabajo se enmarca dentro de la colaboración con la Biblioteca Nacional en el proyecto europeo "Proyecto Biblioteca Digital Europea" cuyo fin es la selección y posterior digitalización de las obras de química de los siglos XVIII y XIX, escritas en castellano por autores españoles y publicadas en España. Dentro de estas obras se encuentran obras de química relacionadas con la industria, comercio, destilación, perfumería, farmacia, botánica, mineralogía, etc.; y libros de texto con múltiples ediciones como los escritos por Torres Muñoz de Luna, José Ramón de Luanco, Gabriel de la Puerta, Mariano Santiesteban y Juan Francisco Sánchez-Morate.

Finalmente, aunque la BHQV está enfocada principalmente a las obras impresas, se pretende incluir una investigación sobre manuscritos pertenecientes a la Biblioteca Nacional, de los que, hasta el presente, se han localizado veintiuno, entre los que se encuentra *El libro del Tesoro* del siglo XV, atribuido a Alfonso X el Sabio, escrito en lengua castellana excepto una parte que aparece cifrada. Otro ejemplo sería *Papeles Varios de Física, Química y Medicina* (siglos XVI y XVIII) que incluye el *Thesaurus Oculatae Philosophiae*, el *Modo de Hacer el Oro Potable* y la *Carta de los 20 Sabios Cordobeses a D. Enrique de Villena sobre Alquimia y su Contestación*, y que seguramente sea una de los documentos más interesantes que existen en lengua castellana y un modelo de literatura alquímica.

**Agradecimientos:** Agradecemos al Ministerio de Educación y Ciencia la financiación obtenida a través de las acciones complementarias CTQ 2004-21483-E y HUM 2006-26467-E. También, por el apoyo y facilidades prestadas, a la actual directora de la Biblioteca Histórica "Marqués de Valdecilla" (UCM), y a la anterior Ana Santos; así como a la directora de la Unidad de Coordinación de Bibliotecas del CSIC Agnès Ponsati. Asimismo a Teresa Malo de Molina, directora técnica de la Biblioteca Nacional y su equipo de información Bibliográfica, en especial a Juan Delgado.

# Biodegradación de gelatina fotográfica por bacterias y hongos. Estudio de quimioluminiscencia

C. Abrusci\*, D. Marquina\*\*, A. Santos\*\*, A. Del Amo\*\*\*, C. Corrales\* y F. Catalina\*

\* *Departamento de Fotoquímica de Polímeros, Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros, CSIC, Madrid*

\*\* *Departamento de Microbiología III, Universidad Complutense de Madrid, Madrid*

\*\*\* *Filmoteca Española, Magdalena 10, 28012 Madrid*

La gelatina es un polímero natural que tiene importantes aplicaciones, entre ellas, el contribuir al archivo de imagen a través de su aplicación fotográfica en forma componente de las emulsiones fotosensibles. Los requisitos de transparencia y pureza de las gelatinas para fotografía son muy exigentes y se emplean los materiales menos degradados en su proceso de obtención, gelatinas Tipo-B de valor de resistencia de gel alto. En este Trabajo (Abrusci et al. 2007), se ha abordado el estudio de la extensión de la biodegradación por microorganismos de filmes de gelatina empleando la técnica de quimioluminiscencia (QL), dado los excelentes resultados que se obtuvieron con esta técnica en el estudio de gelatinas comerciales (Abrusci et al 2004). Los microorganismos empleados en este trabajo se aislaron y caracterizaron a partir de películas cinematográficas en trabajos anteriores. La emisión de quimioluminiscencia se produce por la reacción, térmicamente inducida, de desproporción de hidroperóxidos y que da lugar a un alcohol y a un grupo carbonilo en estado excitado, especie que es la responsable de la débil emisión de luz. La emisión de QL es proporcional al estado de oxidación (contenido de hidroperóxidos) del material objeto de estudio. El estudio llevado a cabo con los filmes biodegradados por bacterias y hongos, confirma que la emisión de quimioluminiscencia se correlaciona muy bien con la disminución de peso molecular debida a la biodegradación por bacterias y hongos en disolución acuosa a 37 y 25 °C respectivamente. Las altas intensidades de emisión de quimioluminiscencia obtenidas con las gelatinas biodegradadas son muy diferentes a las obtenidas con materiales degradados térmicamente en condiciones de esterilización. El mecanismo de degradación hidrolítica (esterilización en autoclave) se produce a través de la fragmentación del enlace peptídico de la proteína, pero transcurre sin oxidación significativa del material. La biodegradación por bacterias y hongos a bajas temperaturas disminuye el peso molecular de la gelatina (viscosidad) por la actividad enzimática pero, existe una gran diferencia, ya que se produce simultáneamente una importante oxidación en el material debida a las especies reactivas de oxígeno (ROS) generadas en el metabolismo microbiano aeróbico. Especies tales como,  $\text{HO}\cdot$ ,  $\text{HOO}\cdot$ ,  $\cdot\text{O}_2^-$ , etc., son capaces de oxidar la estructura macromolecular de la proteína, aumentando drásticamente la emisión de QL. Esta emisión abre la posibilidad de estudio de la biodegradación microbiana por esta técnica.

## Referencias

- Abrusci, C., Martín-González, A., Del Amo, A., Catalina, F., Bosch, P. y Corrales, T. 2004. Chemiluminescence study of commercial type-B gelatines. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 163: 535-546.
- Abrusci, C., Marquina, D., Santos, A., Del Amo, A., Corrales, T. y Catalina, F. 2007. A chemiluminescence study on degradation of gelatine: Biodegradation by bacteria and fungi isolated from cinematographic films. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 185: 188-197.





# Evaluación de características mecánicas de mármol mediante técnicas no destructivas (TND): ultrasonidos *versus* dureza de Schmidt

José Rodríguez Gordillo\* y M<sup>a</sup> Paz Sáez Pérez\*\*

\* *Departamento de Mineralogía y Petrología. Universidad de Granada*

\*\* *Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universidad de Granada*

## Introducción

La determinación cuantitativa de las características mecánicas de un material pétreo tiene lugar mediante los oportunos ensayos de control esfuerzo-deformación hasta rotura, ya sea mediante compresión uniaxial, flexotracción, etc., ensayos a todas luces destructivos. Sin embargo, la necesidad de disponer de técnicas no destructivas para el estudio de materiales y obras del Patrimonio Artístico y Monumental se ha revelado como una necesidad fundamental. La medida de la velocidad de transmisión de los pulsos ultrasónicos a través de un medio sólido es una técnica no destructiva, sencilla y eficaz para la evaluación de la densidad y compacidad de ese medio. Recientemente se ha desarrollado un martillo o esclerómetro para “rocas blandas” que, basado en el mismo principio que el martillo para hormigones, pero con una fuerza de descarga mucho menor, lo hace óptimo para trabajar con este tipo de rocas. Se trata por tanto de un ensayo no destructivo por el cual, a partir de las medidas de rebote o índice de rechazo (dureza de Schmidt), se obtiene la resistencia a compresión y módulo de elasticidad del material. En el presente trabajo se relacionan los datos obtenidos mediante las técnicas de resistencia mecánica por compresión uniaxial (técnica destructiva), frente a los proporcionados por las dos técnicas no destructivas antes expuestas. Las medidas se han efectuado sobre probetas de mármol blanco de Macael sometidas a diversos ciclos de estrés térmico, de manera que, tomando como elemento de referencia los datos proporcionados por la rotura a compresión, se pueda evaluar la validez de los datos aportados por las otras dos técnicas en términos de resistencia mecánica, y establecer, en su caso, las oportunas equivalencias.

## Materiales y técnicas

El material empleado en el estudio ha sido mármol de Macael (Almería, España), concretamente el denominado “Blanco Macael” (IGME 1975). Se trata de un mármol calcítico de tipo granoblástico, variando desde equigranular, con grano de gran tamaño, hasta grano medio-fino heterogranular. Además de probetas no sometidas a ningún tipo de estrés térmico se han estudiado probetas tras los siguientes tipos de ciclos térmicos: Ciclos diarios de calentamiento/enfriamiento entre 100° C y -20° C; ciclos entre 75° C a -20° C y ciclos entre 50° C a -20° C. Las medidas de ultrasonidos se realizaron mediante el método de transmisión directa (UNE 83-308-86 y NORMAL 22/86). A partir de los datos de índice de rebote o dureza de Schmidt se ha calculado la resistencia a compresión ( $\sigma_c$ ) y el módulo de elasticidad ( $E_t$ ). Respecto a los ensayos de resistencia mecánica, se han realizado determinaciones de esfuerzo-deformación y carga de rotura.

## Resultados y conclusiones

En las tablas 1, 2 y 3 se recogen los datos de velocidades medias de propagación de ultrasonidos, dureza de Schmidt y resistencia mecánica respectivamente.

Tabla 1

Nº ciclos	100/-20°C		75/-20°C		50/-20°C	
	Vmz m/s	$\Delta Vmz(\%)$	Vmz m/s	$\Delta Vmz(\%)$	Vmz m/s	$\Delta Vmz(\%)$
0	5.394	-	5.481	-	5.666	-
1	4.286	21	4.927	10	5.450	4
2	4.116	24	4.816	12	5.410	5
3	4.059	25	4.589	16	5.406	5
4	4.122	24	4.542	17	5.302	6
5	3.977	26	4.491	18	5.310	6
6	3.846	29	4.482	18	5.412	5
7	3.860	28	4.493	18	5.300	6
8	3.824	29	4.490	18	5.410	5
9	3.830	29	4.483	18	5.305	6
10	3.800	30	4.488	24	5.303	6

Tabla 2

	Sin tratamiento	100/-20°C	75/-20°C	50/-20°C
r	35.5	28.50	32.0	34.0
$\Delta r(\%)$	-	20	10	4
$\sigma_c$ (MPa)	70.0	54.5	62.0	68.5
$\Delta \sigma_c(\%)$	-	22.0	11	2

Tabla 3

Tratamiento	Carga de rotura (KN)	$\Delta(\%)$	Módulo elástico (Gpa)	$\Delta(\%)$	Tensión, $\sigma$ (MPa)	$\Delta(\%)$	Deformación ( $\mu m/m$ )	$\Delta(\%)$
Sin tratam.	219	-	74	-	69	-	1017	-
100/-20°C	183	16	68	8	56	19	1500	47
75/-20°C	192	12	56	24	63	9	1250	23
50/-20°C	208	5	46	38	66	4	1040	2

Coincidiendo con estudios previos (Rodríguez Gordillo y Sáez Pérez, 2006) los resultados aquí obtenidos indican la alta sensibilidad del mármol de Macael a oscilaciones térmicas no excesivamente elevadas, como es el caso de los ciclos de 100/-20°C y 75/-20°C; pudiendo considerarse la temperatura de 50°C el umbral térmico a partir del cual el material comienza a verse afectado por estas oscilaciones periódicas de temperatura. Por lo que respecta al estudio de los datos proporcionados por las distintas técnicas es destacable la buena correspondencia entre los valores de comportamiento elástico proporcionados por el esclerómetro y los obtenidos por los ensayos de resistencia mecánica (resistencia a compresión,  $\sigma_c$  y tensión respectivamente, ambos en Mpa), tanto en sus valores absolutos como en sus variaciones por los ciclos térmicos. Los restantes parámetros proporcionados por estas dos técnicas presentan variaciones porcentuales de orden análogo tras los distintos ciclos térmicos, excepto para el caso de la deformación, en el que resultan variaciones de orden sensiblemente superior. En cuanto a los valores de velocidad de propagación de ultrasonidos, aunque sus variaciones según los ciclos térmicos son algo superiores a los experimentados por la mayoría de los correspondientes a los de las dos técnicas anteriores, podemos, no obstante, considerarlos de un orden bastante análogo. Lo expuesto permite considerar los valores de velocidad de propagación de ultrasonidos y, sobre todo, de dureza de Schmidt (ensayos ambos no destructivos) como adecuados para evaluar las características de comportamiento elástico de un material marmóreo y la incidencia de las fluctuaciones térmicas a las que esté expuesto.

**Agradecimientos:** El presente trabajo forma parte del Proyecto MAT 2004-06804-CO2-02 (Ministerio de Ciencia y Tecnología) y ha contado con la subvención de Grupo de Investigación RNM 0179 de la Junta de Andalucía.

## Referencias

- IGME. 1975. *Mapa Geológico 1:50.000, MAGNA, Hoja nº 103 (Macael)*
- NORMAL 22/86. 1986. *Misura della Velocità di Propagazione del Suono*. Roma: CNR-ICR.
- Rodríguez-Gordillo, J. y Sáez-Pérez, M.P. 2006. Effects of thermal changes on Macael marble: Experimental study. *Construction and Building Materials* 20: 355-365.

# Identificación de los organismos presentes en pátinas de monumentos graníticos de Galicia

N. Aira\*, V. Jurado\*\*, B. Prieto\* y B. Silva\*

\* *Dpto. Edafología e Química Agrícola. Facultad de Farmacia. USC. 15782-Santiago de Compostela. España*

\*\* *Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología, CSIC. 41012-Sevilla. España*

Las superficies rocosas expuestas a la intemperie sufren una serie de transformaciones, siendo una de las más evidentes la aparición de pátinas negras. Cuando las rocas forman parte de edificaciones y monumentos estas pátinas suponen un importante problema de conservación ya que provocan, cuando menos, un perjuicio estético y en muchos casos contribuyen a su alteración. Las pátinas negras han sido muy estudiadas en rocas de naturaleza calcárea, ya que éstas son las más usadas en el patrimonio monumental europeo, y su formación se ha relacionado fundamentalmente con los efectos de la contaminación atmosférica. Sin embargo, también se han descrito otras pátinas en cuya formación están implicados los organismos colonizadores de la piedra fundamentalmente algas, cianobacterias y hongos.

En este trabajo se identificaron los organismos presentes en pátinas negras desarrolladas sobre diversos monumentos de interés histórico-artístico de Galicia construidos con granito, empleando para ello técnicas de biología molecular basadas en el estudio del ADN.

Se analizaron muestras de pátinas negras y muestras de roca superficial sin pátina (roca limpia) tomadas en un área lo más próxima posible a la pátina correspondiente. Se muestrearon doce monumentos, nueve de los cuales son edificios situados en núcleos urbanos con diferentes grados de contaminación (la ciudad de A Coruña con una contaminación atmosférica apreciable, Lugo y Santiago pequeñas ciudades con un grado de contaminación bajo y Padrón pequeño núcleo urbano presumiblemente con una contaminación atmosférica muy baja) y los otros tres son dólmenes situados en un ámbito natural.

Los resultados de los análisis revelaron que la presencia de microorganismos tiene escasa importancia en las pátinas de los monumentos estudiados. Solamente en cinco de ellas se identificaron bacterias, únicamente en tres cianobacterias y sólo en dos se identificaron organismos eucariotas. Comparando las pátinas con las muestras de roca limpia, en éstas únicamente se identificaron bacterias en dos muestras de edificios y en una de dólmenes, pero en ningún caso se detectaron algas o cianobacterias.

Para caracterizar la población microbiana de las pátinas a través de los análisis de ARNr 16S y 18S, se analizaron las pátinas del Convento del Carmen de Padrón (PAP), del dolmen de Axeitos (DAXP) y de la plaza María Pita en A Coruña (MPP), así como de la roca sin pátina del dolmen de Parxubeira (PXR).

Los análisis permitieron la identificación de varias poblaciones bacterianas pertenecientes a los filos: *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*, *Firmicutes* y *Cyanobacteria*, destacando en mayor proporción los dos primeros. Los organismos fototróficos pertenecientes al dominio *Eukaryota* aparecían únicamente en lugares con baja contaminación ambiental, ya que no se identificaron en ninguna de las ciudades estudiadas.

De este estudio se deduce que los organismos colonizadores de la piedra tienen un papel secundario en la formación de las pátinas negras en monumentos graníticos y que deben ser otros componentes los implicados en el desarrollo de estas alteraciones cromáticas.



# Policromía en la rejería del Palacio de la Granja de San Ildefonso

S. Martínez-Ramírez, M.I. Sánchez de Rojas, V. Azorín y M.T. Blanco-Varela

*Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción (CSIC)*

## Introducción

El Palacio de la “Granja de San Ildefonso” constituye una recreación de los grandes palacios franceses de la época. Fue mandado construir por Felipe V en 1721. Es un bello ejemplo de arquitectura palatina europea, con jardines y fuentes de estilo versallesco. Presenta influencia francesa, del barroco español e italiano, esta última sobre todo en la etapa comprendida entre los años 1720 y 1740.

Existen numerosos estudios históricos sobre el palacio, la colegiata, los jardines con sus impresionantes esculturas, los maravillosos cristales, etc. pero muy pocos dedicados a su rejería que constituye uno de los elementos más notables de este Real Sitio, por ser uno de los primeros focos en la implantación de cerramiento de las modas arquitectónicas francesas, que se introducen en España a través de los gustos estéticos de los Borbones españoles de los siglos XVIII y XIX y de su deseo de imitación del modelo versallesco aunque manteniendo la tradición barroca hispana debido en parte a la reutilización de piezas procedentes del antiguo Alcázar madrileño.

Los diseños de la rejería de los jardines se deben a René Carlier y José de Churriguera; los de la puerta de Segovia son atribuidos a Juan Esteban, mientras que los de los balcones principales fueron diseñados por Sacchetti. Los cerrajeros que las ejecutan, provienen de la familia de Sebastian Flores que junto a su primo José Nicolás de Flores y el yerno de este, Francisco Barranco, son los artífices más notables de las obras de los reales sitios.

El objeto del trabajo fue conocer si la rejería de los balcones del Patio de los Coches del Palacio había estado en algún momento dorada con pan de oro.

## Experimental

Se tomaron muestras de la pintura de la balaustrada de hierro que cierra uno de los balcones que hay en la primera planta de la fachada norte del Patio de Coches del Palacio. Ello se llevó a cabo en zonas de distintos balaustres donde parecía haber más pintura acumulada, utilizando para ello un bisturí. Al tomar una de las muestras, se pudo observar bajo la misma, material brillante y dorado (figura 1).

Las muestras se examinaron con un estereomicroscopio Nikon SFX-DX y dos de ellas se estudia por microscopía electrónica de barrido (SEM) utilizando para ello un microscopio JEOL 5400 cuyo sistema de microanálisis (EDX) es EDX OXFORD-LINK SISTEMA ISIS. La distancia de análisis fue de 20mm y la tensión de 20 kV y las muestras se metalizaron con carbón.

## Resultados

El estudio con el estereomicroscopio indicó que todas las muestras contienen una capa de pintura verde en el exterior y otras de color rojo intenso en las zonas mas internas, (previsiblemente de minio, aplicado para evitar a corrosión del hierro). Dos de ellas (M1 y M2),

contenían restos de material dorado, y se seleccionaron para su estudio y caracterización por SEM/EDX

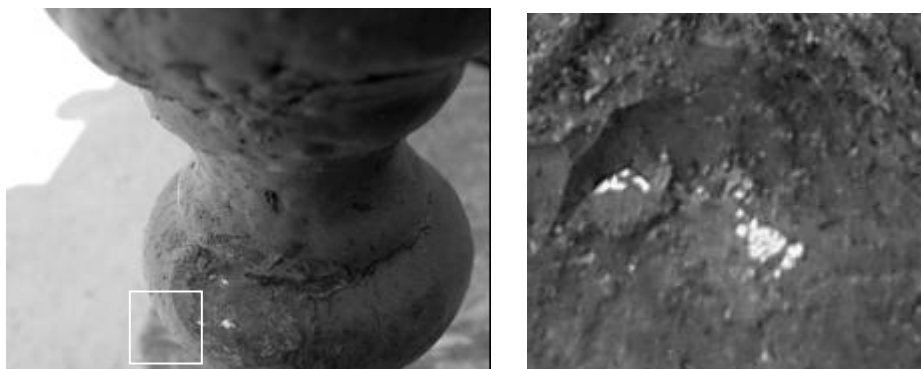


Figura 1. Detalle de uno de los balaustres donde se tomaron muestras.

El estudio microscópico de ambas muestras, revela una morfología en los puntos dorados, lisa y con poco relieve, muy diferente de la del resto del material, su análisis identifica Au. La morfología del resto de la muestra de pintura M1, es mas rugosa y su análisis EDX, indica la presencia de Si, S, Ba, Ca, Fe y Al, y se debe, sin duda, a la carga de las pinturas utilizadas y a óxidos de Fe debidos a la corrosión del material de la balaustrada. La zona de color rojo de la muestra M2, contiene fundamentalmente plomo y corresponde al minio aplicado como protector del hierro frente a la corrosión.

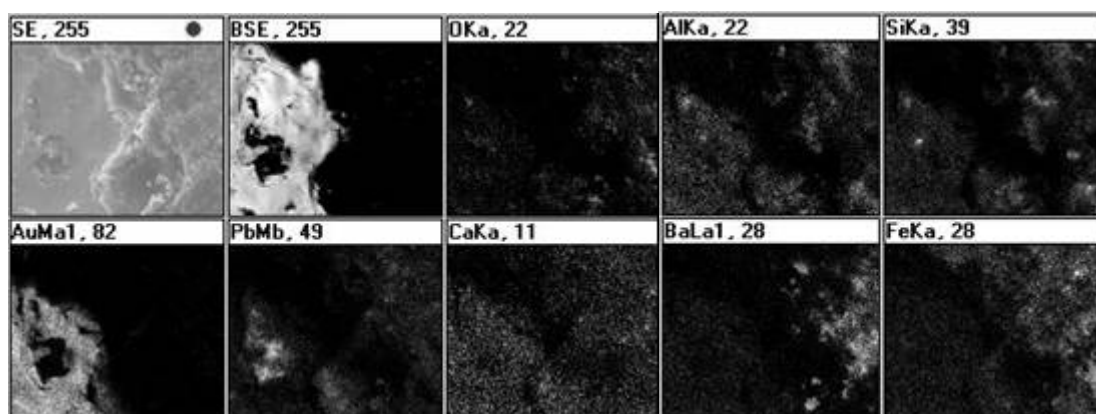
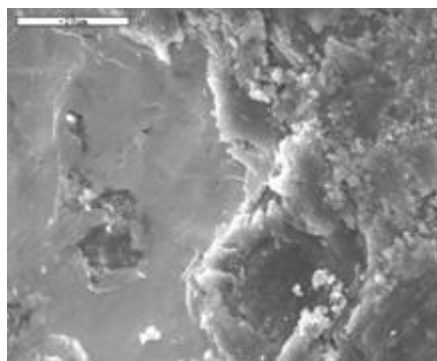


Figura 2. Muestra M1. Distribución de elementos en el área mostrada en la fotografía.

Se realizó un análisis general de la zona mostrada en fotografía de la Figura 2, donde se observan las dos morfologías descritas, lisa en zonas doradas y rugosa en el resto, a fin de determinar la distribución de los distintos elementos en la superficie de la muestra, ("mapping"). El análisis revela la distinta distribución de los elementos, la parte de la izquierda, con morfología lisa, está constituida sobre todo por oro, en una zona donde la capa de oro está levantada y la morfología es menos lisa se identifica la presencia de Pb lo que indica que

debajo hay minio. El Fe es el elemento mas abundante en las parte de la derecha de la zona analizada, junto con el bario.

### **Conclusiones**

Se confirma la presencia de oro bajo diversas capas de pintura en la cerrajería de un balcón de la planta primera del Patio de Coches donde se tomó la muestra.

### **Bibliografía**

- Rubio Aragonés, M.J. 1995. Rejería Artística en los Reales Sitios: 1. La Granja de San Ildefonso y el Palacio de Riofrío. *Reales Sitios* 32 (123): 33-43.
- Herrero García, M.L. 1990. *Rejería en Segovia*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Geografía e Historia.





# Metodología de estudio para la evaluación del deterioro en edificios de mampostería de ladrillo: la Iglesia de Sta. María de la Huerta en Magallón (Zaragoza)

J. Igea\*, P. Lapuente\*, R. Alloza\*\*, P. Marzo\*\* y J.L. Recuenco\*\*\*

\* *Petrología y Geoquímica, Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, 50009, Zaragoza, España. E-mail: [jesigea@unizar.es](mailto:jesigea@unizar.es), [plapuent@unizar.es](mailto:plapuent@unizar.es)*

\*\* *Laboratorio de Investigación de Bienes Culturales (Dirección General Patrimonio Cultural, Gobierno de Aragón).*

\*\*\* *Laboratorio de Calidad para la Edificación, Gobierno de Aragón.*

La Iglesia de Sta. María de la Huerta también llamada de Nuestra Señora de la Huerta, es un templo mudéjar probablemente de mediados del siglo XIV que pasó a formar parte del convento que los Padres Dominicos fundaron en Magallón en el siglo XVII. La Iglesia es un edificio de ladrillo tomado con mortero de yeso y cal, con una volumetría importante. Consta de una sola nave de tres tramos, con cabecera en forma de ábside poligonal de 7 lados sin contrafuertes. El templo conserva decoración de ladrillo eminentemente mudéjar en varias zonas del monumento pero fundamentalmente destaca por la ornamentación decorada en yeso tallado.

El estudio propuesto en esta investigación está estrechamente relacionado con los problemas medioambientales que causan deterioro en los materiales de construcción y ornamentación del Mudéjar en la Comunidad de Aragón. Este rico Patrimonio aragonés, declarado bien singular, universal e irremplazable para la Humanidad por la UNESCO, necesita en muchos casos de una restauración programada. Esta actuación requiere previamente de una caracterización de su estado actual y de los riesgos potenciales de deterioro que lo afectan. Para ello, en el presente trabajo, se ha realizado un diagnóstico normalizado mediante la elaboración de un modelo de ficha técnica siguiendo las indicaciones del programa de Protección y Conservación del Patrimonio Cultural Europeo, aplicable en la caracterización de la degradación del conjunto del Patrimonio Mudéjar, pero extrapolable también a otros monumentos.

La ficha técnica desarrollada está estructurada en tres partes bien diferenciadas; En la primera parte se realiza una descripción general del edificio objeto de estudio en base a características como dimensiones de la construcción, fases diferenciadas en la edificación y otros datos históricos relevantes como puede ser el uso pasado y presente dado al templo. A continuación, la ficha está dedicada al análisis visual de los daños según el tipo de material de construcción diferenciado (material cerámico y mortero de yeso y cal, en este caso) y la altura y orientación del área analizada. En este apartado se describen las características macroscópicas de los materiales originales así como los materiales afectados por el deterioro y el área dañada en su caso. Por último, en la tercera parte de la ficha, se recoge la tipología de los daños observados en el edificio mediante una clasificación en 5 grandes bloques de formas de alteración en la cual se engloban la pérdida y aporte de material, alteración cromática, la rotura y la deformación.

El resultado de la valoración del deterioro en el edificio ha puesto de manifiesto que las principales formas de alteración que afectan al conjunto de la mampostería de ladrillo son la pérdida de material y la presencia de una mancha de humedad continua generada por absorción capilar, aunque dependiendo de la orientación del área analizada, se han observado, entre otras, alteraciones generadas por la presencia de vegetación u otras originadas a partir

de intervenciones históricas realizadas en el edificio. Respecto al mortero utilizado en la construcción del templo, por una parte, el mortero de unión está muy afectado por la presencia de humedad capilar que provoca la grave alteración de las juntas (desprendimiento, salinización y retroceso quedando sueltos los ladrillos) y por la otra, el enlucido se encuentra gravemente dañado por la pérdida de material generada por el agrietamiento y falta de adhesión al muro de ladrillo.

# Conservación preventiva de los frescos de la Catedral Metropolitana de Valencia

Fernando J. García-Diego\* y Dr. Juan Pérez Miralles\*\*

*\*Departamento de Física Aplicada de la S.T.S.I.A., Universidad Politécnica de Valencia*

*\*\*Instituto Valenciano de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Servicio de Restauración de la Diputación de Castellón.*

Quién iba a imaginarse que la bóveda barroca del ábside de la catedral de Valencia escondía en su interior unos increíbles frescos del siglo XV. Una de las escasas muestras del arte del renacimiento en España. Y por qué no decirlo, unas de las primeras pinturas al fresco a nivel mundial.

El hallazgo fue realizado por el equipo de restauración que iba anecdóticamente a restaurar la bóveda barroca de la catedral. Ello originó un “extraño” conflicto entre dos obras de arte, la barroca que era una “decoración” que escondía tras de ella una “creación” perfectamente conservada durante más de 300 años. La solución adoptada por el equipo de restauradores fue la siguiente: “Desmontar” la cúpula barroca para poder así restaurar y consolidar los frescos renacentistas.

La cúpula se encuentra actualmente almacenada en unas 300 piezas esperando un destino definitivo. Tal vez en algún museo catedralicio donde se pueda volver a montar y lucir todo su esplendor.

El problema viene ahora. Una vez desmontada la cúpula barroca los frescos se encuentran expuestos a un microclima diferente del que había conservado perfectamente las pinturas durante 300 años. Este microclima se ha alterado ya que al desmontar la cúpula han quedado al descubierto unas pinturas que antes se encontraban en una cámara de aire de unos 80 cm. de altura con una temperatura y humedad bastante constante.

Todo esto hace necesario disponer de un sistema de control medioambiental de las pinturas específico para este caso.

Nunca debemos olvidar que la temperatura y la humedad relativa son factores que intervienen en las reacciones químicas y el crecimiento de microorganismos, que inciden en el deterioro natural de las piezas artísticas (Camuffo *et al.* 1999, Macklenburg y tumosa 1999, Reddy *et al.* 2005).

Para controlar estas condiciones ambientales proponemos un sistema de monitorización de los parámetros de temperatura y humedad relativa enfocados tanto a la obra de arte como a la sala donde se encuentran las pinturas.

Para lograr esto se ha desarrollado un sistema de cableado sencillo basado en que cada sensor dispone de un código numérico único, irrepetible y secreto. Con este número podemos colocar todos los sensores en un circuito electrónico en paralelo como si de un sistema de telegrama se tratase. Así pues, el ordenador manda una señal a todos los sensores “preguntando” por uno de ellos en particular, y solamente responde el sensor en cuestión.

Con este sistema se pretende en primer lugar poder actuar rápidamente sobre las obras de arte ya que los sensores están incorporados en las obras dando información precisa sobre sus condiciones particulares. Esto ofrece a los restauradores datos para actuar individualmente sobre cada punto de la obra. Un sistema enfocado a controlar la información ambiental de la

sala, puede no ser adecuado en este caso concreto ya que cada punto de la obra puede estar sometido a un microclima concreto inadecuado, debido a factores como posibles infiltraciones de agua por el tejado, cantidad de gente que acude a visitarla puntualmente, iluminación, presencia de fuentes de calor, etc. Por tanto con este sistema podemos en primer lugar individualizar el estudio y tratamiento. Y en segundo lugar podemos recabar datos sobre las condiciones climáticas a las que han sido sometidas las obras de arte a lo largo del tiempo que han sido monitorizadas.

## **Sensores**

Hemos desarrollado cuatro tipos de sensores para la catedral:

- Sensor de temperatura: cada intervalo de tiempo programado mandaría la temperatura que le está afectando.
- Sensor de humedad: Este es un sensor capacitivo que transforma la humedad en potencial que es transmitido en binario por el bus de datos
- Sensor de encharcamiento: colocado en la terraza que es capaz de detectar si sube el nivel de agua en la misma, debido a obstrucciones en los desagües..
- Sensor de lluvia: Parecido al de encharcamiento pero colocado al revés para detectar si se producen precipitaciones.

Estos cuatro sensores están basados en un solo circuito integrado diseñado para monitorizar la carga de una batería de plomo. Por ello monitorizan simultáneamente la temperatura y el potencial. Por esta razón, todos los sensores de humedad, encharcamiento y lluvia también monitorizan temperaturas.

## **Finalidad de estos sensores**

Los datos obtenidos por estos sensores se mandarán vía Internet y serán analizados mensualmente para detectar posibles irregularidades. Además se desarrollará un algoritmo que nos proporcione una señal de peligro en caso de entrada de agua en las paredes de la catedral. Por otro lado se creará una base de datos con el histórico de temperaturas y humedades de estas pinturas que como ya hemos comentado antes será de gran utilidad para el futuro de este tipo de obras de arte.

## **Bibliografía**

- Camuffo, D., Brimblecombe, P., Van Grieken, R., Busse, H.J., Sturaro, G., Valentino, A., Bernardi, A., Blades, N., Shooter, D., De Bock, L., Gysels, K., Wieser, M. y Kim, O. 1999. Indoor air quality at the Correr Museum, Venice, Italy. *Science of the Total Environment* 236 (1-3): 135-152.
- Macklenburg, M.F. y Tumosa, C.S. 1999. Temperature and relative humidity effects on the mechanical and chemical stability of collections. *Ashrae Journal* 41 (4): 77-82 .
- Reddy, M.K., Suneela, M., Sumathi, M. y Reddy, R.C. 2005. Indoor air quality at Salarjung Museum, Hyderabad, India. *Environmental Monitoring and Assessment* 105 (1-3): 359-367.

# Condiciones de ventilación en la Cueva del Canelobre (Alicante): Implicaciones para la gestión ambiental de una cavidad turística

J. Cuevas-González<sup>\*,\*\*</sup>, A. Fernández-Cortés<sup>\*,\*\*</sup>, M.A. García del Cura<sup>\*,\*\*</sup> y J.C. Cañaveras<sup>\*,\*\*</sup>

*\* Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Universidad de Alicante. Campus San Vicente del Raspeig. 03080 Alicante*

*\*\* Laboratorio de Petrología Aplicada. Unidad asociada UA-CSIC. 03080 Alicante*

La Cueva del Canelobre (Busot, Alicante) constituye el ejemplo más importante de uso turístico de un georrecursos de naturaleza kárstica, convirtiéndose en la cavidad turística con mayor número de visitantes en la provincia de Alicante con 60.000 visitas/año, y una de las más visitadas en todo el Levante español. La Cueva del Canelobre es uno de los focos con mayor potencial turístico de la comarca de l'Alacantí y, dada su proximidad a la costa y grandes núcleos urbanos turísticos, se ha convertido en un complemento a la oferta turística de la zona y en un motor de desarrollo del municipio.

Su descubrimiento se remonta al siglo XI durante las labores de prospección minera realizadas por los árabes. Durante la Guerra Civil Española se destinó a la reparación de motores de aviación, etapa en la que se construyó el túnel de acceso actual, así como la fachada de sillería exterior y numerosas actuaciones que deterioraron notablemente parte de su interior. Con la finalización de la contienda, se procedió a su rehabilitación y acondicionamiento con el propósito de abrirla al turismo. Actualmente, esta cueva es gestionada por el Excmo. Ayto. de Busot, y durante el periodo 1996/2004 ha recibido una media de algo más de 60.000 visitas al año, correspondiendo el 38% de las mismas al periodo estival.

Uno de los aspectos tangibles que determinan la potencialidad turística e importancia ambiental de la Cueva del Canelobre es su riqueza en espeleotemas, como helictitas, estalagmitas, estalactitas o coladas. Tales espeleotemas requieren de unas condiciones de formación (temperatura, humedad, CO<sub>2</sub>,...) tan concretas, que actuaciones indirectas no controladas sobre el entorno pueden afectar irreversiblemente a su equilibrio natural. La degradación de los espeleotemas puede suponer su corrosión y paulatina desaparición. Por lo tanto, la investigación científica en la Cueva del Canelobre no debe quedar al margen de los planes de adecuación y uso turístico de la cavidad, sino que debe convertirse en un componente fundamental para su correcta gestión ambiental. En esta línea, desde 2005 se ha llevado a cabo por el grupo de investigación solicitante el proyecto de investigación: "Caracterización microclimática y geoquímica de la Cueva del Canelobre (Alicante). Valoración del papel fuente-sumidero de los sistemas kársticos dinámicos en el ciclo del CO<sub>2</sub> atmosférico", financiado por el MEC (ref. CGL2004-05969/BTE) y desarrollado desde 2004 a 2007. La finalidad de este proyecto ha sido evaluar la aportación de los sistemas kársticos en los ciclos de CO<sub>2</sub> atmosférico, como paso previo para establecer un modelo para los intercambios de CO<sub>2</sub> entre la atmósfera y un sistema kárstico somero. Para ello se ha estudiado las variaciones de la concentración de CO<sub>2</sub> así como de las características de los flujos de intercambios en las diferentes interfases involucradas. Gracias a este proyecto y a una dotación previa de fondos FEDER-UA, la Cueva del Canelobre cuenta con el instrumental básico de control medioambiental de los principales parámetros físico-químicos de agua y aire: presión atmosférica, temperatura del aire, humedad relativa, CO<sub>2</sub> del aire, intensidad de goteo en estalactitas y control de la hidroquímica del agua de infiltración. No obstante, durante el desarrollo del citado proyecto de investigación se ha podido constatar la enorme influencia del

régimen de visitas y uso turístico en las condiciones ambientales de la Cueva del Canelobre, así como signos generales de deterioro ambiental.

En el periodo observado de 16 días se registraron 2311 entradas de visitantes distribuidas diariamente entre las 11 y las 17 horas. Para el mismo periodo se observan variaciones en la concentración de CO<sub>2</sub> que oscilan entre 386 y 849 ppm, con aumentos de más de 300 ppm dentro de una misma jornada. En cuanto a la humedad relativa se registraron caídas de hasta el 20 % en menos de 2 horas, las cuales fueron acompañadas de descensos de la temperatura del orden de 1 grado centígrado.

## Colonización microbiana de la Piedra de Redueña: Implicaciones en el diagnóstico de fenómenos de biodeterioro

B. Cámara\*, A. De los Ríos\*, M. Álvarez de Buergo\*\*, R. Fort\*\* y C. Ascaso\*

*\*Instituto de Recursos Naturales, Centro de Ciencias Medioambientales, C/ Serrano 115 dpdo, 28006 Madrid*

*\*\*Instituto de Geología Económica (CSIC-UCM), Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense, C/ José Antonio Novais 2, 28040 Madrid*

La dolomía cretácica conocida como Piedra de Redueña, constituye uno de los materiales pétreos más empleados en la construcción de diversos monumentos históricos que forman parte del Patrimonio Arquitectónico de la Comunidad de Madrid. Actualmente las canteras de las que se extrajo el material permanecen abandonadas, pero se conservan diversos frentes correspondientes a distintas épocas de explotación.

El análisis de la estructura de las comunidades microbianas que habitan dolomías cretácicas de distintos frentes de cantera, nos ha ayudado a comprender mejor cómo es la colonización de este material y los mecanismos de bioalteración que genera. En este estudio, se han combinado diferentes metodologías entre las que se incluyen la microscopía electrónica de barrido en modo de electrones retrodispersados (SEM-BSE), la técnica microanalítica de espectroscopía por energía dispersiva de rayos X (EDS), microscopía de barrido a bajas temperaturas (LTSEM) y el análisis mediante electroforesis en gel con gradiente desnaturalizante (DGGE).

Este análisis de piedra de cantera ha permitido establecer una secuencia temporal de colonización microbiana, de endolítica a epilítica, y determinar que los hongos, tanto de vida libre como asociados simbióticamente, son los principales colonizadores y de que su acción mecánica sobre el sustrato lítico es la principal vía de alteración. En monumentos, contruidos con el mismo material, se ha podido detectar fenómenos de bioalteración de la piedra similares. Los resultados de este estudio aportan importantes datos que pueden ayudar en el diagnóstico de los procesos de biodeterioro de monumentos históricos contruidos con dolomías, los cuales se están realizando en la actualidad. Por otro lado, estos estudios han constituido la base para el diseño de tratamientos encaminados a eliminar la presencia de estos microorganismos y así reducir sus efectos de alteración sobre la piedra monumental.





## Índice de autores

## A

Abrusci, C., 89  
Aira, N., 93  
Akatova, E.A., 73  
Alloza, R., 63  
Almagro, A., 27  
Álvarez de Buergo, M., 43  
Argyropoulos, V., 57  
Arjonilla, M., 55  
Armbruster, B., 33  
Ascaso, C., 47  
Aza, S. de, 23

## B

Barreiro, D., 29  
Bastidas, D.M., 57  
Benavente, D., 43, 59, 69  
Bernabéu, A., 43, 59  
Blanco-Varela, M.T., 19

## C

Cámara, B., 47  
Cano, E., 57  
Cañamares, M.V., 39  
Cañaveras, J.C., 45, 69, 103  
Capel, F., 23  
Carmona, N., 21  
Castillejo, M., 37  
Catalina, F., 89  
Corrales, C., 89  
Cotte, M., 79  
Criado, E., 23  
Criado-Boado, F., 13, 29  
Cuevas-González, J., 103  
Cuezva, S., 45, 69

## D

de los Ríos, A., 47  
del Amo, A., 89  
del Rosal Padial, Y., 85  
Dionísio, A., 81  
Domingo, C., 39  
Duran, A., 17, 77, 79  
Durán, G., 55

## E

Ellersdorfer, G., 65

## F

Fernández-Cortés, A., 45, 103  
Fort, R., 43  
Franquelo, M.L., 17, 77

## G

García del Cura, M.A., 43, 59, 103  
García-Heras, M., 21  
García-Ramos, J.V., 39

Garrido Luque, A., 85  
Gaspard, S., 37  
Gimena, P., 77  
Gomes, M.I., 81  
González Grau, J.M., 49, 63, 65, 69, 73

## H

Herrera, L.K., 17, 77, 79  
Herrero Fernández, H., 17

## J

Jimenez de Haro, M.C., 17, 77, 79  
Jurado, V., 69, 73, 93  
Jurasekova, Z., 39  
Justo, A., 17, 79

## K

Križnar, A., 53, 83

## L

Laiz, L., 71, 73, 81  
Liñán Baena, C., 85  
López Davó, J.A., 59

## M

Macedo, M.F., 81  
Marquina, D., 89  
Martín, M., 37  
Martín-Rojo, A.B., 87  
Martínez-Martínez, J., 43, 59  
Martínez-Ramírez, S., 19  
Miller, A.Z., 81  
Montero Ruiz, I., 33  
Muñoz, M.V., 83

## N

Navarro, J., 27

## O

Odriozola, C., 17  
Orejas, A., 35  
Orihuela, A., 27  
Oujja, M., 37

## P

Palomo, A., 19  
Parcero-Oubiña, C., 29  
Pascual, C., 23  
Paz, F. de la, 83  
Perea, A., 33  
Pérez-Monserrat, E., 43  
Pérez-Pariente, J., 87  
Perez-Rodriguez, J.L., 17, 77, 79  
Pérez Villar, S., 23  
Portillo, M.C., 63  
Poyato, J., 17  
Prieto, B., 93

Puertas, F., 19

## **R**

Recio, P., 23  
Respaldiza, M.A., 83  
Reyes, J., 69  
Rincón, J.M., 67  
Robador, M<sup>a</sup>.D., 77  
Rodríguez Gordillo, J., 91  
Rogerio-Candelera, M.A., 71, 81  
Rovira Llorens, S., 33  
Rubio, F., 23  
Rubio, J., 23  
Ruiz Conde, A., 53, 55  
Ruiz del Árbol, M<sup>a</sup>., 35

## **S**

Sáez Pérez, 91  
Saiz-Jimenez, C., 49, 63, 65, 69, 71, 73, 81  
Sánchez-Cortés, S., 39  
Sánchez-Moral, S., 45, 69  
Sánchez-Palencia, F.J., 35

Sánchez-Soto, P.J., 53, 55  
Santos, A., 89  
Sastre, I., 35  
Siatou, A., 57  
Sigüenza, B., 17  
Silva, B., 93  
Sterflinger, K., 65  
Stomeo, F., 65

## **U**

Utrero Agudo, M<sup>a</sup>.A., 31

## **V**

Valle, F.J., 23  
Varas, M.J., 43  
Vázquez-Calvo, M.C., 43  
Vega, M., 83  
Villegas, M.A., 21

## **W**

Walczak, M., 37  
Wierzchos, J., 47





